

Kaj Selin

Uusiutuvien energiatuotantomuotojen vertailu

Tuulivoima ja aurinkovoima

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Tradenomi

Liiketalouden koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Kesäkuu 2013

| | |
|---|--|
| Tekijä(t) Otsikko | Kaj Selin Uusiutuvien energiatuotantomuotojen vertailu |
| Sivumäärä Aika | 43 sivua + 1 liite Kesäkuu 2013 |
| Tutkinto | Tradenomi |
| Koulutusohjelma | Liiketalous |
| Suuntautumisvaihtoehto | Kansainvälinen liiketoiminta |
| Ohjaaja(t) | Lehtori Timo Riikkilä |
| <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää pienimuotoisen aurinko- ja tuulivoiman käyttö lisäenergian lähteenä ja tarkastella niiden investointien kannattavuutta. Lisäksi työssä tutkittiin suurtuulivoimatuotantoa, joka kuluu tuettujen uusiutuvien energiatuotantomuotojen joukkoon.</p> <p>Työssä käytettiin hyväksi määrälliseen ja laadulliseen tutkimuksen perustuvia menetelmiä. Työssä ensin selvitettiin, millä edellytyksillä pienimuotosta energiatuotantoa voidaan asenta omaan käyttöön ja mitä perusedellytyksiä tekniikoilta vaaditaan, että niistä olisi hyötyä. Työssä tutkittiin Suomen ilmastollisia olosuhteita. Suomeen saatavasta auringonpaisteesta oli saatavissa tutkittua aineistoa, jota käytettiin työssä hyväksi. Myös Suomen tuuliolosuhteista oli saatavilla luotettavaa tilastoaineistoa.</p> <p>Laitevertailussa käytettiin valmistajilta saatua lähdeaineistoa. Aineistoa oli saatavilla runsaasti, ja aineistosta pystyi muodostamaan realistisen kustannusrakenteen tutkituille pientuotantolaitteistoille. Suurtuulivoimalainvestointi on hyvin riippuvainen tuuliolosuhteista, asennuspaikasta, tuuliturbiinien lukumäärästä ja laitetekniikasta sekä laitteiden luotettavuudesta. Suurtuulivoimalan investointilaskelmien perusteena käytettiin kansainvälistä alalta saatava tietoa, jota sovellettiin työn laskelmissa.</p> <p>Kannattavuustarkastelut suoritettiin annuiteettimenetelmällä käyttäen 6 %:n reaalikorkoa ja laitteiden hintataso perustui maaliskuun 2013 hintoihin. Pientuotantolaitteiston taloudelliseksi käyttöiäksi määriteltiin 15 vuotta ja suurtuulivoimalan käyttöiäksi määriteltiin 20 vuotta. Lainamääränä käytettiin investointiarvoa.</p> <p>Tutkimuksen perusteella pienimuotoinen aurinkokeräinjärjestelmä osoittautui kannattavimmaksi lisäenergian tuotantomuodoksi. Aurinkosähköpaneeli- ja pientuulivoiman investointi ei ainakaan tämän tutkimuksen perusteella kannattaisi. Investointi pientuulivoimalaan oli tutkimuksen perusteella teoreettinen. Investoinnit suurtuulivoimaloihin näyttäisi olevan kannattavaa, koska sitä tuetaan.</p> | |
| Avainsanat | Aurinkovoima, tuulivoima, uusiutuvat energialähteet, investointi |

| | |
|---|--|
| Author(s) Title | Kaj Selin Comparing Renewable Energy Sources |
| Number of Pages Date | 43 pages + 1 appendix June 2013 |
| Degree | Bachelor of Business Administration |
| Degree Programme | Economics and Business Administration |
| Specialisation option | International Business |
| Instructor(s) | Timo Riikkilä, Senior Lecturer |
| <p>The purpose of this study was to discover the use of solar and wind energy solutions as an additional source of generation of electrical energy and heating power in small houses. The purpose was also to identify if investing in these energy sources is economically profitable. The second object in this study was large wind turbines. The State of Finland grants support for the production of electricity for the investors of large wind turbine projects. The name of this support is known as feed-in tariff-support.</p> <p>Both qualitative and quantitative research methodology was utilized in this study. The scope of this study was to identify the different technologies of the production of solar heating and electricity. In addition, the clarification of electricity production of a small wind turbine was an interest in this study. The basis for all these small renewable energy sources is that there are enough sun beams and enough wind. There are quite a few new and reliable statistics on the wind conditions in different areas in Finland published. For all solar applications it is also very important to know where and when we have the best intensity of solar beams.</p> <p>The price for solar and wind applications was quite easy to discover and there was a lot of manufacturer information available in the internet. For large wind turbines the main source of price and production information was the international wind organizations, because they have a large amount of statistics of different projects.</p> <p>The calculation of the investments was based on the annuity method. The real rate of interest was 6 % and the price level of the all products was based on the level of March 2013. The economical life time of small renewable products was 15 years and for large wind turbines 20 years. The rate of the loan was exactly the value of the investment.</p> <p>Based on this study the production of solar heating as an additional source of energy for a small house was the most economical application. The solar panel system was not economical and a small wind turbine was the most expensive of all. Of course in this case the small wind turbine application was seen as a theoretical solution. The production of the electricity with large wind turbines is beneficial due to the support of feed-in-tariff.</p> | |
| Keywords | solar ,wind ,renewable energy , investment, feed-in-tariff |

Sisällys

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | Johdanto | 3 |
| 1.1 | Ilmaston tilanne | 3 |
| 1.2 | Energioiden periaatteellinen jako | 4 |
| 1.3 | Päästökauppa | 5 |
| 1.4 | Tutkimusaiheen määrittäminen ja työn raja | 6 |
| 1.5 | Lähtökohdat tutkimukselle ja investointien kannattavuustarkastelu | 7 |
| 1.6 | Tutkimusmenetelmä ja työn rakenne | 7 |
| 2 | Lähtökohdat uusiutuvien energiamuotojen tuotannolle | 8 |
| 2.1 | Uusiutuvien energiamuotojen velvoitepaketti Suomelle | 8 |
| 2.2 | Nykytilanne Suomessa | 9 |
| 2.3 | Edellytykset tuuli- ja aurinkovoiman tuotannolle Suomessa | 11 |
| 2.4 | Tuulivoiman kehitys | 12 |
| 2.5 | Tuulivoimalaitos | 13 |
| 2.6 | Tuuliturbiinin tuottama teho | 13 |
| 2.7 | Auringon säteily ja vaikutus maapallolla | 17 |
| 2.8 | Aurinkosäteily ja säteilyn saantimahdollisuudet Suomessa. | 17 |
| 2.9 | Aurinkosäteilyn hyödyntäminen | 19 |
| 2.10 | Aurinkovoimalaitteistot | 20 |
| 2.10.1 | Aurinkokeräimet | 20 |
| 2.10.2 | Aurinkokeräinten kytkentä lämmitysjärjestelmiin | 22 |
| 2.10.3 | Aurinkosähköpaneeli | 22 |
| 3 | Tuuli- ja aurinkovoiman investointikustannukset | 23 |
| 3.1 | Investointiprosessin vaiheet | 23 |
| 3.2 | Tarkastelun lähtökohdat | 24 |
| 3.3 | Investoinnin kannattavuuteen vaikuttavat seuraavat seikat | 26 |
| 3.4 | Laskelma liittyen kuvion 5 mukaisen pientalon aurinkokeräinjärjestelmään | 27 |
| 3.5 | Laskelma liittyen kuvion 6 mukaisen pientalon sähköpaneelijärjestelmään | 28 |
| 3.6 | Laskelma liittyen kuvion 3 mukaisen pientuulivoimalan liittäminen talon sähköjärjestelmään | 29 |
| 3.7 | Laskelma liittyen kuvion 2 tyyppisen suurtuuliturbiinin investointiin | 30 |
| 3.8 | Laskelmissa vertailukohteena käytetty öljy- ja sähkölämmiteinen pientalo | 31 |
| 4 | Investointikustannusten vertailu | 32 |

| | | |
|-----|--|----|
| 4.1 | Investointien vertailussa käytettävät mallit ja kaavat | 32 |
| 4.2 | Aurinkokeräinjärjestelmän kustannusvertailu | 33 |
| 4.3 | Aurinkosähköpaneelijärjestelmän kustannusvertailu | 33 |
| 4.4 | Pientuulivoimalan kustannusvertailu | 34 |
| 4.5 | Päätelmät tutkituista kolmesta pienimuotoisesta lisäenergiatuotannosta ja kustannuksista | 34 |
| 4.6 | Vertailtavana olevan 3 MW suurtuulivoimalan investointikustannukset ja Suomen valtion maksaman tuotantotuen vaikutus investointiin | 35 |
| 4.7 | Tuuli- ja aurinkovoimalla tuotetun sähkön liittäminen yleiseen sähköverkkoon | 36 |
| 4.8 | Sähköenergian hinnoittelu Nord Pool-sähköpörssissä | 37 |
| 5 | Yhteenveto | 39 |
| 5.1 | Pienimuotoisen aurinko- ja tuulivoiman käyttö lisäenergiälähteenä | 39 |
| 5.2 | Sähkön tuotanto suurtuulivoimaloilla | 40 |
| 6 | Oman työn arviointi ja kannanotto | 41 |
| | Lähteet | 42 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1. Työssä käytettyjä suureita ja lyhenteitä | |

1 Johdanto

1.1 Ilmaston tilanne

Maailma on teollistunut kahdenkymmenen viime vuoden aikana vauhdilla, jota ei aikaisemmin ole nähty. Teollistuminen on kehittynyt erityisesti Aasian suurissa kansakunnissa ja valtioissa. Myös Etelä-Amerikan suuret maat ovat teollistuneet ja kehittyneet huimaa vauhtia. Seuraavaa suurta kehitysaaltoa odotetaan Afrikan maista.

Maan tai maanosan kehittyminen vaatii myös ympäristön muutoksia. Ihmiset muuttavat maaseudulta kaupunkeihin ja perinteiset ammatit muuttuvat. Maaseutu autioituu ja ympäristörakenteet muuttuvat. Teollistumisen myötä syntyy uusia ammatteja ja toimenkuvia. Teollistuminen vaatii myös aina lisäinvestointeja tuotantohyödykkeiden valmistamisessa ja energiantarpeen lisäämisessä.

Maailmassa tuotetaan energiaa monella eri tuotantotavalla, ja sitä myös kulutetaan hyvin monimuotoisesti riippuen kulutustarpeesta ja kohteesta. Jokin yksittäinen maa voi olla täysin omavarainen, tai se voi jopa tuottaa energiaa yli oman tarpeensa. Energias-
ta on muodostunut hyvin tärkeä kaupankäynnin kohde. Energia voi olla kiinteässä muodossa, kuten kivihiili, tai se voi olla nestemäisessä muodossa kuten öljy. Energia voi olla myös kaasumaisessa muodossa tai suoraan sähköenergiana, jota siirretään sähköjohtoja pitkin. Energiaa siirretään maiden ja maaosien välillä kulloinkin vaaditun tarpeen mukaan.

Suomen energiapolitiikassa tapahtuu suuria muutoksia lähivuosina. Suomessa tuotetaan tänä päivänä energiaa ydinvoimalla, hiilivoimalla, biovoimalla, maakaasulla, öljyllä, vesivoimalla ja tuulivoimalla. Suomen ydinvoimalat tuottavat noin 28 % maamme sähköntarpeesta. Suomeen rakennetaan parhaillaan viidettä ydinvoimalaa, jonka teho on 1600 MW, ja se otetaan tuotantoon todennäköisesti vuonna 2016. Lisäksi Suomen hallitus on myöntänyt alustavat luvat kahdelle uudelle ydinvoimalaitokselle, jotka tulevat kaupalliseen käyttöön arviolta 2020–2024. Ennen kuin uudet ydinvoimalat ovat toiminnassa, Suomesta tulee poistumaan huomattava määrä fossiilisella polttoaineella tuotettua sähköenergiaa. Myös Suomen vanhempien ydinvoimalaitosten käyttöluva umpeutuu vuosikymmenen 2020 loppupuolella. Edellisen kehityksen perusteella uusiutuvilla energiamuodoilla tulee olemaan merkittävä rooli Suomen energiapolitiikassa tulevaisuudessa.

Suomessa tuotetaan perusvoimaa ydinvoimalaitoksissa, joita on nyt käytössä neljä yksikköä, kaksi Eurassa Olkiluodossa ja kaksi Loviisassa, kaasuvoimalaitoksissa, hiilivoimalaitoksissa, turpeen, puun ja jätteen yhdistelmävoimalaitoksissa, vesivoimalaitoksissa ja tuulivoimalaitoksissa. Suomessa on useita yhdistelmävoimalaitoksia, joissa tuotetaan sähköä ja lämpöä. Näitä laitoksia kutsutaan CHP-laitoksiksi (Combined Heat and Power). Esimerkiksi Helsingin Energian Salmisaaren voimalaitos on CHP-laitos, joka tuottaa sähköä ja kaukolämpöä Helsingin kaupungin yritysten ja asukkaiden käyttöön.

1.2 Energioiden periaatteellinen jako

Energialähteet jaetaan uusiutumattomiin ja uusiutuviin energialähteisiin. Uusiutumattomia energiamuotoja ovat öljy, hiili, maakaasu, turve ja uraanipolttoaine. Nämä ovat fossiilisia aineita, jotka ovat kehittyneet nykymuotoonsa miljoonien vuosien kuluessa. Uusiutuvat energialähteet ovat tuulivoima, vesi- ja aaltovoima, aurinkoenergia, biomassassa, geoterminen lämpö ja maalämpö.

Suomessa on käyty laajaa keskustelua monella taholla eri energiavaihtoehtojen kannattavuudesta ja mitkä siitä, energian tuotantomuodot tulevat olemaan vielä aktiivisia myös tulevaisuudessa. Energiaratkaisut ovat hyvin kauaskantoisia, sillä esimerkiksi ydinvoimalaitoksen elinikä on noin 40 vuotta.

Suomi liittyi Euroopan unioniin 1. tammikuuta 1995, ja jäsenyys toi mukanaan monia uusia asioita, lakeja, asetuksia ja määräyksiä, joita Suomen tulee noudattaa. Suomi ei voi enää täysin itsenäisesti päättää esimerkiksi, mitä energian tuotantotapoja Suomessa tullaan tulevaisuudessa käyttämään. Jos investoimme saastuttavaan tuotantoon, joudumme maksamaan päästöistä sakkoja, jotka tekevät investoinnista kannattoman.

Euroopan unionissa on sisäinen päästökauppajärjestelmä, joka pohjautuu Kioton ympäristökokouksen pöytäkirjaan, jonka tavoitteena on kasvihuonepäästöjen seuraaminen ja hiilidioksidin päästövähennystavoitteiden saavuttaminen mahdollisimman kustannustehokkaasti. Tämä Yhdistyneitten Kansakuntien alainen puitesopimuspöytäkirja tuli voimaan vuonna 2005. EU:n teollisuusmaat ovat sitoutuneet noudattamaan kasvihuonekaasujen päästörajoituksia, ja velvoitteet ovat olleet voimassa vuosina 2008–2012. Tämän vuoden alusta alkoi EU:n sisällä uusi päästökauppajakso, ja se on voimassa vuoden 2020 loppuun. Suomessa päästökauppa koskee noin 600:aa laitosta,

joiden katsotaan päästävän hiilidioksidia ilmakehään ja tehorajana ovat yli 20 MW:n tehoiset polttolämpölaitokset. Päästökauppa perustuu EU:n sisällä huutokauppaan, ja Suomessa päästökaupasta huolehtii Energiamarkkinavirasto, joka edelleen raportoi EU:lle sekä toimii päästömaksujen välittäjänä Suomen valtiolle. Käytännössä uudet päästörajat asettavat vanhat saastuttavat laitokset hankalaan tilanteeseen, koska niissä ei ole nykyaikaisia päästöjen puhdistuslaitteistoja ja uusien puhdistuslaitteistojen investointi vanhoihin laitoksiin ei ole enää välttämättä kannattavaa. (Työ- ja elinkeinoministeriö.)

1.3 Päästökauppa

EU:ssa voi syntyä uusia poliittisia päätöksiä liittyen päästökauppaan, ja näillä päätöksillä voi olla merkittäviä vaikutuksia koko EU:n päästökauppaan. EU on esittänyt, että osa päästöoikeuksista siirrettäisiin huutokaupattavaksi myöhäisempänä ajankohtana. Tähän on syynä nykyisten päästöoikeuksien alhainen hinta. Hiilidioksiditonnihintaa on ollut nyt pitkän aikaa tasolla 4–5 euroa, kun se korkeimmillaan on ollut 30 euroa tonnilta. Nykyinen hintataso ei kannusta energiantuottajia vähähiilisiin eli vähän saastuttaviin investointeihin. Yleisesti teollisuus on vastustanut päästöoikeuksien myynnin siirtämistä myöhäisempään ajankohtaan. Voi olla myös mahdollista, että siirretyt päästöoikeudet mitätöidään lopullisesti. Tämä on tietenkin vastoin koko päästökauppaperiaatetta ja ajattelua puhtaammasta energian tuotannosta. Suomen hallitus mietti myös toisen veroluonteisen maksun perimistä yrityksiltä, jotka hyötyvät ansiottomasti päästökaupasta. Tämä maksu perustuisi windfal-veroon, joka perustuu ydinvoiman ja vesivoiman verottamiseen, koska nämä energian tuotantotavat katsotaan päästöttömäksi.

Tämän päivän ilmastopolitiikan lähtökohtana on, että ihmisten toimintatavat muuttavat ilmakehän koostumusta, mikä puolestaan aiheuttaa ilmaston lämpenemisen. Tämä toteamus väitettiin ensimmäisen kerran vuonna 1938, jolloin englantilainen insinööri Guy Stewart Callender julkaisi tutkimuksensa keinotekoisesta hiilidioksidin tuotannosta ja sen vaikutuksesta ilmastoon. Callender arvioi tutkimuksissaan, että ihminen lisää hiilidioksidin määrää ilmakehässä 9000 tonnin määrän tunnissa. Ilmaston tutkimuksessa kyseistä vaikutusta kutsutaan keksijänsä Callenderin mukaan the Callender effect eli fossiilisten polttoaineiden polton vaikutusta maapallon ilmakehän olemukseen. (Oksanen 2012, 31.)

Energiapolitiikalla on hyvin tärkeä strateginen merkitys, ja se vaikuttaa moneen asiaan joko välittömästi tai välillisesti. Ilman yhteistä energiapolitiikkaa, mikä koskee kehittyneitä teollisuusmaita ja tulevia teollisuusmaita, perustehtävien ylläpitäminen ja hoitaminen ei ole mahdollista. Yhteinen politiikka koskee sisäisestä ja ulkoisesta turvallisuudesta huolehtimisesta, ja sen edellytyksenä on että huolehditaan käytettävissä olevia energialähteitä. Vaikka Euroopassa on pyrkimys yhteisen energiapolitiikan luomiseen Euroopan integraatioprosessin mukaisesti, kuitenkin kansallisvaltiot ovat mustasukkaisesti varjelleet ja suojanneet omaa energiapolitiikkaansa. (Ruostetsaari 2010, 12.)

1.4 Tutkimusaiheen määrittäminen ja työn rajaus

Tämän tutkimustyön tavoitteena on tarkastella kahden uusiutuvan energiatuotannon välistä suhdetta ja kannattavuutta. Tutkittavat energiatuotantomuodot ovat tuulivoima ja aurinkovoima. Kyseiset energiamuodot on valittu siksi, että ne ovat muiden uusiutuvien energiamuotojen alkulähteitä. Esimerkiksi geoterminen energia on kallioperään varastoitunutta lämpöenergiaa, ja esimerkiksi meressä syntyvä aaltovoima perustuu tuulen ja auringon yhteisvaikutukseen.

Valitsin työni aiheeksi uusiutuvien energioiden tuotannon, koska olen itse kiinnostunut aiheesta. Olen myös töissä suuressa kansainvälisessä yrityksessä, jonka yksi suuri toimiala on uusiutuvat energiantuotantomuodot. Olen henkilöjäsenenä Suomen aurinkoteknillisessä yhdistyksessä, ja yhdistyksen kautta pääsen näkemään uusiutuvien energioiden alalla tapahtuvaa kehitystä. Maantiede ja säätiede ovat olleet kiinnostukseni kohde jo kansakouluajoista lähtien, ja nämä tieteenalat liittyvätkin hyvin läheisesti uusiutuvan energian tuotantoon.

Työssä tutkitaan ja verrataan suurtuulivoimatuotantoa sekä pienvoimaloita, jotka ovat tarkoitettu lähinnä yksityiseen käyttöön. Aurinkovoimassa lähtökohtana on pienvoimatuotanto, koska Suomessa ei vielä ole suuria yksiköitä. Aurinkovoiman tuotanto jakautuu kahteen tuotantotapaan: lämpöenergian tuotantoon ja sähköenergian tuotantoon.

Tutkimuksen tavoitteena on tarkastella suurtuulivoimalan ja pientuulivoimalan kannattavuutta sekä aurinkovoimaloiden kannattavuutta ja verrata näitä keskenään. Tällä hetkellä tuulivoimatuotantoa tuetaan eli tuulella tuotetusta sähköstä maksetaan tuotantotukea, mutta aurinkovoimalla tuotetusta sähköstä tai lämmöstä ei makseta tuotantotukea. Työssä perehdytään kumpienkin tuotantomuotojen periaatteellisiin teknillisiin rat-

kaisuihin ja käytetään kaupallista kannattavuusvertailua eri tuotantomuotojen välillä ja vertailut pohjautuvat investointilaskelmiin. Liitteessä 1 on selvitetty työssä käytettyjä teknisiä arvoja ja lyhenteitä.

1.5 Lähtökohdat tutkimukselle ja investointien kannattavuustarkastelu

Suomi on sitoutunut nostamaan uusiutuvien energiamuotojen osuuden 38 %:iin kokonaisenergiankäytöstä vuoteen 2020 mennessä. Valtio on jo asettanut selkeät tavoitteet, aikataulut ja tukimuodot tuulivoiman lisäinvestoinneille. Aurinkovoimalle ei ole selkeää tavoitepakettia vielä voimassa, vaikka aurinkovoiman tuotantomahdollisuudet ovat kasvaneet huomattavasti myös Suomessa. Tuulivoiman ja aurinkovoiman tuotantosuhteet vielä tänä päivänä ovat kaukana toisistaan, sillä tuulivoimatuotantoa oli vuoden 2012 lopussa asennettu noin 290 MW, kun aurinkovoimaa oli asennettu alle 1 MW. Suurtuulivoimalat on kytketty valtakunnan sähköverkkoon, mutta pientuuli- ja aurinkovoimalat ovat yleensä omistajiensa paikalliskäytössä lisäsähköenergian tai lisälämpöenergian tuottajana. Työssä yritetään selvittää että, onko suurtuulivoimaloiden investointi taloudellisesti kannattavaa, ja mikä on tuotantotuen vaikutus investointiin. Toinen tutkimuksen kohde työssä on pienimuotoisen tuuli- ja aurinkoenergian investoinnin kannattavuus pientalon lisäenergian tuottajana.

Investointeja voidaan luokitella monella eri tavalla ja menetelmällä. Yleisimmin käytetty luokittelujen jako on finanssi- eli rahainvestointeihin ja reaali-investointeihin. Finanssi-investoinnissa rahaa sidotaan tuotantotoimintaan oman tai vieraan pääoman ehdoilla sijoittamalla, tai hankkimalla tuotantotoimintaa harjoittavan yrityksen osakkeita tai velkakirjoja. Reaali-investoinneilla taas tarkoitetaan pitkävaikutteisten tuotantotekijöiden ostamista. Investointilajien ero on myös siinä, että finanssi-investoinnin kohde on jo olemassa markkinoilla mutta reaali-investoinnit edellyttävät monivuotisia projekteja ennen kuin niistä aletaan saada tuottoja. (Niskanen & Niskanen, 2007, 295.)

1.6 Tutkimusmenetelmä ja työn rakenne

Työssä käytetään määrällisen ja laadullisen työn tutkimusmenetelmiä hyväksi. Tutkimuksen aineisto on koottu alaa käsittelevästä kirjallisuudesta, alan ammattilehdistä, erillisistä tutkimuksista, internet- julkaisuista ja alaan liittyvistä luentoaineistosta. Työn viitekehys perustuu alan ammattijulkaisuihin ja viimeisimpiin alaan liittyviin tutkimuksiin.

Työn ensimmäinen osa koostuu johdannosta, tutkimusaiheen rajauksesta, tutkimuksen tavoitteista ja käytetyistä malleista sekä tutkimusmenetelmän esittelystä. Johdannossa esitellään Suomen energiatuotannon nykytilannetta, ja EU:n asettamia vaatimuksia energiatuotannollemme.

Toisessa luvussa tuodaan esille lähtökohdat ja velvoitteet uusiutuvan energiamuotojen tuotannolle. Siinä käsitellään myös Suomen uusiutuvien energioiden nykytilannetta ja tarkastellaan aiheeseen liittyviä toimijoita ja yrityksiä. Siinä käsitellään myös tuuli- ja aurinkovoimaloiden teknillisiä perusratkaisuja ja edellytyksiä energian tuotannolle. Luvussa käydään läpi tuuliturbiinin perusrakenne ja toimintatapa. Aurinkovoimaloista esitetään niiden perusrakenteet ja niiden tuotantoedellytykset.

Kolmannessa luvussa suoritetaan investointilaskelmia tuuli- ja aurinkovoimaloiden rakentamiselle käyttäen lähdeaineistona markkinoilta ja alan toimijoilta saatavia lähtötietoja. Neljännessä luvussa verrataan investointilaskelmia keskenään ja otetaan kantaa tutkittujen energiamuotojen kannattavuuteen.

Viidennessä ja kuudennessa luvussa tehdään johtopäätökset tutkimusten perusteella ja arvioidaan Suomen uusiutuvien energiamuotojen tulevaisuuden näkymiä tulevaisuudessa. Tässä luvussa myös otetaan kantaa tutkittujen energiamuotojen mahdollisia positiivisia vaikutuksia Suomen työllisyystilanteeseen nyt ja tulevaisuudessa.

2 Lähtökohdat uusiutuvien energiamuotojen tuotannolle

2.1 Uusiutuvien energiamuotojen velvoitepaketti Suomelle

Euroopan unioni edellyttää, että Suomen tulee nostaa uusiutuvien energiamuotojen osuuden 38 %:iin kokonaisenergiankäytöstä vuoteen 2020 mennessä. Yksi merkittävimmistä uusiutuvista energiamuodoista on tuulivoima. Tuulivoiman tuotanto tulisi EU:n veloitteen perusteella nostaa tällä hetkellä noin 0,6 TWh:sta (terawattitunnista) 6 TWh:iin vuoteen 2020 mennessä. Lisäystä olisi 5,7 TWh nykytilanteeseen verrattuna. Tämä tuotantomäärä vastaa noin 2000–2500 MW tuulivoimaa. Tänä päivänä Suomessa on käytössä noin 288 MW tuulivoimaa. (Työ- ja elinkeinoministeriö.)

Suomen eduskunta hyväksyi joulukuussa 2010 tuotantotuesta lain, joka koskee uusiutuvilla energiatavoilla tuotettua energiaa, ja tämä laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta astui voimaan 25.3.2011. Tukea maksetaan takuuhinnan ja

toteutuneen sähkön markkinahinnan erotus. Tukihinta on 83,50 euroa tuotettua megawattituntia kohden. Suomen valtio on myös luvannut lisätukea nopeille tuulivoimahankkeille siten, että tuulivoiman tuottaja saa korotettua tukea, joka on 105,30 euroa megawattituntia kohden, ja tuki on voimassa kolme vuotta enintään vuoden 2015 loppuun asti. Tukijärjestelmä päättyy nykyisten päätösten mukaan vuonna 2022. Tuen saannin edellytykset ovat seuraavat: tuulivoiman tuotanto ei ole saanut muuta valtion tukea, tuuliturbiini on täysin uusi ja sen generaattoreiden nimellisteho on vähintään 500 kilovolttiampeeria.

Tukijärjestelmän kustannukset olisivat 6 TWh:n tuotannolla noin 200 miljoonaa euroa vuodessa edellyttäen, että sähkön markkinahinta olisi 50 euroa megawattituntia kohden. Tukijärjestelmä takaa sen, että tuulivoiman tuottaja saa aina verkkoon syöttämästään sähköstä 83,50 euroa megawattitunnilta, ja korotettua tukea 105,30 euroa megawattitunnilta vuoden 2015 loppuun asti. Tuki ei ole riippuvainen sähkön kulloisestakin markkinahinnasta. (Työ- ja elinkeinoministeriö.)

Sähkön pörssihinnat eivät enää kerro sähköenergian kokonaishintaa, sillä uusiutuvien energiamuotojen kansalliset tukijärjestelmät ovat muuttaneet EU:n sisällä sähkön perushinnoittelua. Yksittäisen maan sähkön pörssihinnasta ei voi enää päätellä, miten sähkön tuotannon kokonaiskustannukset vaikuttavat asiakkaan maksamaan energian hintaan. (Mattila 2011, 42.)

2.2 Nykytilanne Suomessa

Aurinkovoima ei saa tällä hetkellä tukijärjestelmän mukaista suoraa tukea tuotettaessa sähköä tai lämpöenergiaa. Työ- ja elinkeinoministeriö on kuitenkin hyväksynyt tuen myöntämisen aurinkosähkötuotannolle uudisrakennuskohteissa, joita tuetaan enintään yhdellä miljoonalla eurolla vuonna 2013. Tuki on vähäinen verrattuna sitä tuulivoiman saamaan tukeen, mutta se on varmaan hyvä alku laajemmalle tukisysteemille.

Suomen tuulivoimakapasiteetti on 288 MW ja tämä teho koostuu 162 tuulivoimalasta. Tuulivoimalat on myös kytketty valtakunnan suurjännitteiseen sähkönjakeluverkkoon. Tilastoitu yksittäisten voimaloiden teho on 200 kW:sta 3600 kW:iin, ja niiden tuotama teho oli 492 GWh:a, mikä vastaa noin 0,6 %:a Suomen sähkönkulutuksesta. Pientuulivoimaloita ei ole tilastoitu, ja niiden yhteistehosta ei ole saatavilla tilastotietoja.

Auringon säteily muutetaan lämpövoimaksi aurinkokeräimien avulla tai säteily muutetaan sähkövirraksi aurinkopaneelien avulla. Suomessa on muutamia aurinkovoimalaitoksia, kuten Kiilto Oy Lempäälän tehdaskiinteistössä on 332 kpl aurinkopaneeleja yhteispinta-alaltaan 1400 m², ja niiden vuosituotto on 60 MWh. ABB:n Pitäjänmäen toimistotalon katolla on 1200 m² aurinkopaneeleja ja niiden yhteisteho on 180 kW. Porin uimahallissa on aurinkokeräimiä, jotka tuottavat noin 120 MWh lämpötehoa vastaten 5 %:a koko hallin lämpöenergian tarpeesta, lisäksi hallin katolla on 360 m² aurinkopaneeleja, jotka tuottavat 3 % hallin vuotuisesta sähköntarpeesta.

Sekä tuulienergian että aurinkoenergian tuotanto on täysin riippuvaista kulloisestakin vallitsevasta sääolosuhteesta. Tuulettomalla säällä ei tueteta sähköä eikä pimeällä säällä myöskään synny aurinkoenergiaa.

Nykyään merkittävämmät uusiutuvat energialähteet ovat biovoima, vesivoima, tuuli-voima ja aurinkoenergia. Näiden energiamuotojen osuus viime vuosikymmenen lopulla oli 13 % alkuenergian tarpeesta maailmassa. EU:n välitavoitteena on lisätä uusiutuvia energioita siten, että ne olisivat 20 % kaikista alkuenergioista vuonna 2020, mikä vastaisi vuositason yhden prosenttiyksikön lisäystä. Jos suunnitelmat ja tavoitteet pysyvät samana, voisi uusiutuvien energioiden osuus olla vuonna 2050 jo 50 %. Esimerkiksi Tanskassa tuotetaan jo nyt yli 20 % maan sähköenergiasta tuulivoimalla. Aurinkovoiman hyödyntäminen kehittyy koko ajan, ja tulevaisuudessa sen käyttö suoraan tai välillisesti kattaa koko maapallon energiatarpeen. (Vuorinen 2009, 180.)

Vaikka tuulivoimarakentaminen on vasta alussa, maassamme on jo lukuisia yrityksiä jotka ovat toimineet alalla jo useita vuosia. Suomen tuulioloista on käytössä tuuliatlas, joka näyttää Suomen kartalla tuulialueet. Tämä tuulikartasto on tärkeä apuväline määriteltäessä tuulisia alueita, mihin kannattaa pystyttää tuulivoimaloita. Kartasto perustuu vuosien 1989 ja 2007 välillä tehtyihin tuulimittauksiin. Kartaston on rahoittanut työ- ja elinkeinoministeriö, toteutuksesta on vastannut Ilmatieteen laitos ja työtä koordinoanut Motiva Oy. VTT Oy on tutkinut, konsultoinut ja järjestänyt seminaareja tuulivoimasta jo usean vuoden ajan, ja se on julkaissut tuulivoiman tuotantotilastoja vuodesta 2004 lähtien. Motivassa on ollut tuulivoima ja aurinkovoiman kehityshankkeita myös yksityiselle kuluttajalle. Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT) tutkii ja tekee tieteellisiä selvityksiä laajimmin Suomen korkeakouluista tuuli- ja aurinkovoimasta. Tästä esimerkkinä on, että LUT:n kampukselle tullaan rakentamaan Suomen suurin aurinkovoimala, jonka teho tulee olemaan 220 kilowattia ja aurinkopaneelien kokonaispinta-ala 1500 m².

Konsultointi- ja projektiyhtiö Pöyry Oyj on toteuttanut globaalisesti tuuli- ja aurinkovoimaprojekteja.

Markku Niskanen on haastatellut Energiauutisen-lehden artikkelissa Energiamarkkinaviraston ylijohtajaa Riku Huttusta. Huttunen kertoo, että Suomessa on jo ehditty saada tähän mennessä runsaasti kokemuksia uusiutuvien energiakäytön ohjauksesta. Pelisäännöt eivät vielä ole aivan valmiita EU:n sisällä, ja ne vaativatkin vielä syvällisempää tarkastelua. Tämä on nyt ajankohtaista, koska EU:ssa eri valtioiden kansalliset tukitoimet vaikuttavat yli kansallisten rajojen. (Niskanen 2013, 6.)

Huttusen (2013, 6) mukaan Suomessa voidaan olla tyytyväisiä tapahtuneeseen kehitykseen, vaikka investoinnit uusiutuviin energiamuotoihin eivät ole edenneet yhtä nopeasti kuin monessa muussa EU:n jäsenvaltiossa. Suomessa näkymät ovat hyvät ja vuonna 2011 käyttöön otettu tukijärjestelmä on vauhdittanut monia uusia tuulivoimaprojekteja Suomessa.

2.3 Edellytykset tuuli- ja aurinkovoiman tuotannolle Suomessa

Tuulen syntyminen perustuu auringon tuottamaan lämpöön. Esimerkiksi kun aurinko lämmittää maan pintaa, nousee maan pinnassa oleva lämmennyt ilma ylöspäin ja sen tilalle tulee kylmää ilmaa. Ilmiöön liittyy myös ilmakehän paine-erot, jotka saavat ilmassat liikkumaan. Merellä taas lämmenneeseen ilmassaan liittyy merestä nouseva kosteus. Vaihtelevista ja eri tiheyden omaavista ilmassoista paine-erojen avulla syntyy vaihtelevat tuuliolosuhteet maan ilmakehään.

Edellytykset tuulivoiman tuotannolle perustuvat siihen, että alueella mihin on tarkoitus pystyttää tuuliturbiineita, on myös riittävästi tuulta saatavissa. Ilmatieteen laitos, työ- ja elinkeinoministeriö ja Motiva ovat yhteistyössä tuottaneet Suomen tuulikartaston, joka perustuu vuosien 1989 ja 2007 välillä tehtyihin tuulimittauksiin. Viimeisin tuuliatlas julkaistiin 25.11.2009 ja se on päivitetty 31.3.2010. Tuuliatlas on monipuolinen tietolähde tuulivoimasta ja tuulivoiman mallinnuksesta. Tuuliatlaksen tuulimallit perustuvat laajoihin tietokoneohjelmiin, ja Suomen tuulitietoja on mahdollista saada 50 viimevuoden ajalta. Ne sisältävät keskimääräiset kuukausittaiset ja vuotuiset tuuliolosuhteet. Mittaukset on tehty alkaen 50 metrin korkeudelta aina 400 metrin korkeuteen asti sekä eri välikorkeuksilta. Kartaston perusteella Suomen tuulisimmat alueet sijoittuvat Ahvenanmaalle ja etelärannikon alueelta edeten länsirannikkoa pitkin Tornionjokilaaksoon asti.

Myös Lapin kasivarren alueella on tuulista, sekä sisämaassa yksittäisillä korkeilla mäki-alueilla. (Tuuliatlas.)

Tuulen nopeudella ja vallitsevalla ilmanpaineella on selvä yhteys toisiinsa. Mitä nopeammin ilmanpaine muuttuu tietyllä alueella, sitä voimakkaammin alueella myös tuulee. Voimakkaimmat tuulet esiintyvät lähellä matalapaineen keskusta ja säärintamien reuna-alueilla. Tuulen suunta ja nopeus mitataan siten, että tuuli puhaltaa havainnoitsijaa kohti kyseisestä ilmansuunnasta. Tuulen mittaustavat ja asteikot on sovittu kansainvälisesti. Tuulta mitataan jatkuvasti ja mittaustulos perustuu 10 minuutin näytejakson keskiarvoon. Yksittäisten tuulen puuskien vaikutus on pieni näytejakson aikana, mutta Ilmatieteen laitos varoittaa puuskista maa-alueiden tuulivaroituksissa. Tuulen suunta ja nopeus on määritelty pää- ja väli-ilmansuuntien mukaisesti. Ilmatieteen laitos määrittelee tuulen nopeudet seuraavasti: 0 m/s tyyntä, 1-3 m/s heikkoa tuulta, 4-7 m/s kohtalaista tuulta, 8-13 m/s navakkaa tuulta, 14–20 m/s kovaa tuulta, 21–32 m/s myrskyä ja yli 32 m/s hirmumyrskyä. (Ilmatieteen laitos.)

2.4 Tuulivoiman kehitys

Tuulen voima on tunnettu jo satoja vuosia. Tuulta on käytetty apuna muun muassa tuulimyllyissä, joissa tuulen voimalla on pyöritetty jauhinkiviä. Jauhinkivillä on jauhettu viljaa ja muuta materiaalia. Tuulen voimalla voidaan myös pumpata vettä ja öljyä. Ensimmäisen sähköä tuottavan tuulimyllyn keksi ja rakensi tanskalainen meteorologi Paul la Cour vuonna 1891. Hän korvasi jauhinkivet sähkögeneraattorilla. 1900-luvun alusta alkoi tuulimyllyjen hyödyntäminen pienimuotoiseen sähkön tuotantoon. Varsinainen tuulimyllyjen teollinen hyödyntäminen sähköntuotantoon alkoi 1980-luvun alussa, ja Euroopassa ensimmäiset tuuliturbiinien valmistustehtaat perustettiin Tanskaan. Tanska soveltuu erittäin hyvin tuuliturbiinien asennusmaaksi. Tanska on tasainen ja merten välissä oleva pienehkö maa. Tanskassa käytännöllisesti tuulee aina, ja tuuli on yleensä tasaista johtuen maamuodosta. Tanskassa on useita suuria tuuliturbiinien valmistajia. Valmistajat ovat voineet testata turbiineja lähes kotipihallaan, ja siksi tuotekehitys on tapahtunut tehokkaasti ja joustavasti.

2.5 Tuulivoimalaitos

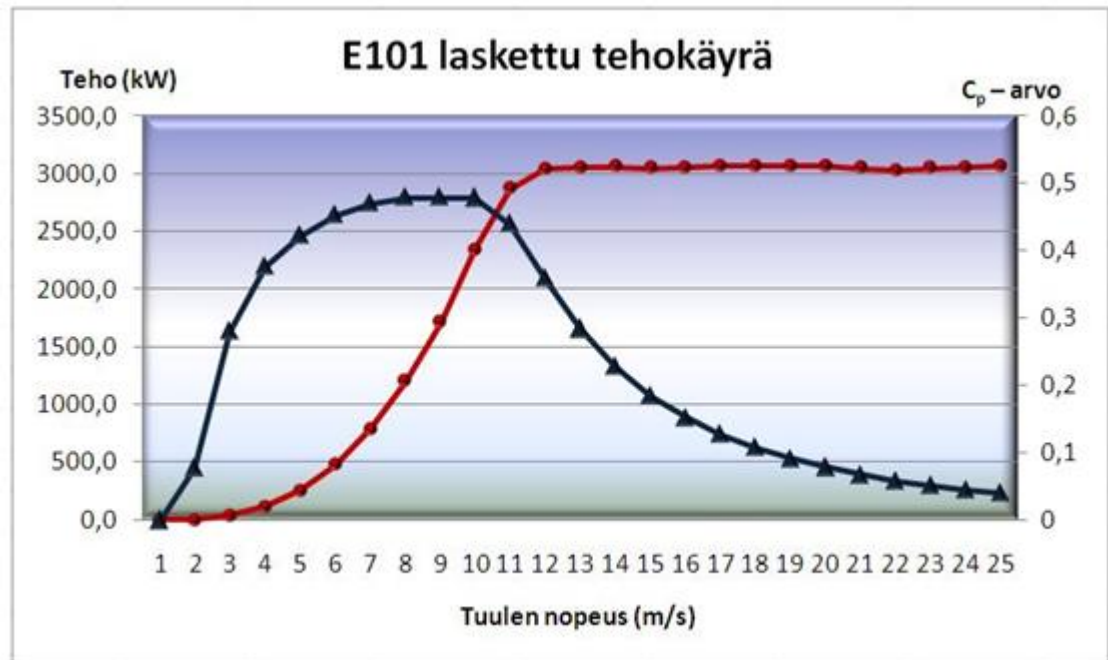
Tuulivoimalaitosta kutsutaan tuuliturbiiniksi. Tuulivoimalaitokset jaetaan suur- ja pien-voimaloihin. Pienvoimalaitokset ovat yksityisen kotikäyttötarkoitukseen tarkoitettuja tuuliturbiineja, ja ylimääräinen tuotettu sähkö voidaan tietyin ehdoin siirtää tarvittaessa paikallisen energiayhtiön verkkoon. Nykyaikainen tuuliturbiini koostuu tornista, konehuoneesta, jota kutsutaan nacelleksi, ja tuuliroottorista. Tuuliroottori on nykyään poikkeuksetta kolmisiipinen. Tuuli on liike-energiaa, joka saa tuuliturbiinin roottorin pyörimään. Roottori on kytketty mekaanisesti konehuoneessa olevaan generaattoriin, joka tuottaa sähköä tuulen nopeuden suhteessa tietyissä toimintarajoissa. Pienvoimaloiden tehoalue on noin puolesta kilowatista noin kolmeen sataan kilowattiin, ja niiden generaattorit tuottavat joko tasasähköä tai vaihtosähköä, ja syöttöjännite vaihtelee 12 V:sta 400 V:iin voimalan tyypistä riippuen.

Nykyisten asennettavien suurvoimaloiden teho alkaa noin yhdestä megawatista ja suurimmat kaupallisessa käytössä olevat laitokset ovat noin kahdeksan megawatin tehoisia. Suurvoimalat ovat massiiviasia laitoksia. Voimalan konehuone voi olla 140 metrin korkeudella maan pinnasta, ja siihen kiinnitetyn roottorin halkaisija voi olla 130 m. Konehuoneen ja roottorin yhteinen massa voi olla 250 tonnia vastaten noin 200 keskikokoisen henkilöauton massaa. Kuviossa 2. on nähtävissä nykyaikaisen suurvoimalan eli tuuliturbiinin pääkomponentit. Myös pientuulivoimalan komponenttirakenne on samankaltainen, mutta yleensä rakenne on yksinkertaisempi ja voimala koostuu lukumäärältään vähemmistä komponenteista.

2.6 Tuuliturbiinin tuottama teho

Tuuliturbiinin teho perustuu tuulen synnyttämään liike-energiaan, joka muutetaan turbiinin roottorin välityksellä generaattorissa sähköenergiaksi. Tuulen synnyttämä teho tuuliturbiinissa perustuu kaavaan $P = \frac{1}{2} \times \rho \times U^3 \times A$, jossa ρ on ilman tiheys, U on tuulen nopeus ja A on roottorin pyyhkäisypinta-ala. Kaavasta voidaan havaita, että teho on verrannollinen tuulen nopeuden kolmanteen potenssiin. Esimerkiksi jos tuulen nopeus kasvaa 2 m/s:tä arvoon 4 m/s, kasvaa tuulen tuottama teho kahdeksankertaiseksi. Myös roottorin halkaisijan kasvaessa kasvaa sen pyyhkäisypinta-ala. Roottorin pyyhkäisypinta-ala on $A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$, jossa d on roottorin halkaisija. Esimerkiksi jos roottorin halkaisija kasvaa 90 m:stä 100 metriin, niin pyyhkäisypinta-ala kasvaa noin 23 %.

Myös roottorin napakorkeudella on suuri merkitys tuulen hyödyntämiseen. Esimerkiksi jos roottorin napakorkeus maanpinnan tasolta kasvaa 100 m:stä 140 m:iin, voi tuulen nopeus kasvaa jopa 2 m/s, ja kyseisellä tuulen lisäyksellä on selvä vaikutus tehontuottoon, kuten edellä todettiin. (Suomen Tuulivoimayhdistys.)

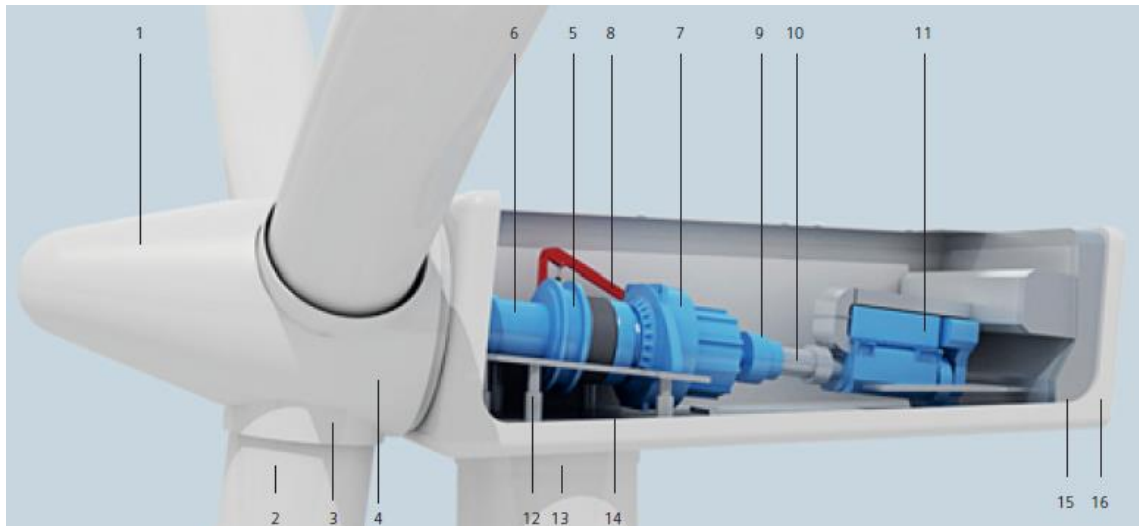


Kuvio 1. Tyypillinen 3 MW ja 101 metrin roottorihalkaisijalla olevan tuuliturbiinin tehontuotto-käyrä (Vaasa Energy Institute).

Kuviossa 1 punainen käyrä edustaa tyypillistä 3 MW tuuliturbiinin tehontuottoa eri tuulen nopeuksilla ja musta käyrä edustaa hyötysuhdetta eli siitä kuinka paljon on mahdollista saada tehoa tietyllä tuulen nopeudella. Kuvion oikeassa laidassa esitetty C_p -arvo on kerroin, joka kertoo, kuinka paljon prosentuaalisesti on mahdollista hyödyntää tuulen energiaa. Käyrien leikkauskohta on nimellistuottopiste, eli tässä tapauksessa tuulennopeudella noin 11 m/s saadaan tehoa noin 2700 kW. Tuuliturbiinin valmista antaa investoijalle tietylle turbiinityypille ominaisen tehontuottokäyrän, jonka perusteella investoija voi laskea turbiinin vuosituoton. Perustana tuottoennusteelle on, että investoija tietää paikalliset tuuliolosuhteet.

Tuulivoimalaitos vaatii noin 3-5 m/s tuulennopeuden, että se käynnistyy ja alkaa tuottaa sähköä. Tuotto alkaa lisääntyä nopeasti tuulen nopeuden kasvaessa. Kun tuulennopeus kasvaa nopeuteen 25 m/s, kytkeytyy tuulivoimalaitos automaattisesti pois päältä. Suurella tuulennopeudella ei saavuteta yhtään lisätehoa, ja laitteisto voi mekaanisesti rikkoutua liian suuren tuulennopeuden johdosta. Tuuliturbiinin tuotto perustuu sen

tyyppikohtaiseen tehontuottokäyrään, ja tuulen nopeuden kasvaessa noin 15–25 m/s tehoa rajoitetaan turbiinin siipisäädöllä. (Helynen & Hongisto & Hämäläinen & Kor-
kiakoski & Kurkela & Kytö & Laurikko & Mattila & Mäkinen & Peltola & Rosenberg &
Sipilä & Vanttola & Viinikainen 2004, 270.)



Kuvio 2. Suurtuulivoimala Siemens 3,6 MW -120 (Siemens, 2012). (Copyright Siemens AG)

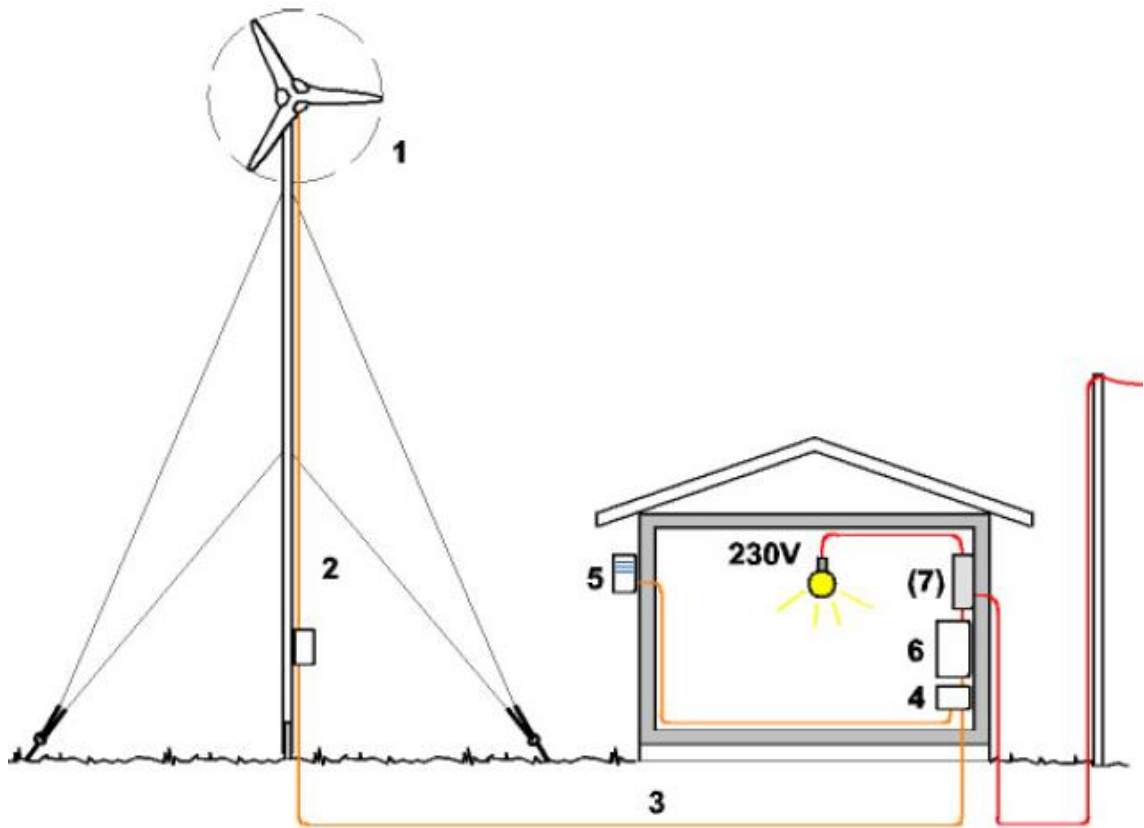
Tuuliturbiinin konehuoneen(nacelle) pääosat:

- | | | |
|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1. spinneri | 2. siipi | 3. siiven kääntölaakeri |
| 4. roottorinapa | 5. päälaakerointi | 6. pääakseli |
| 7. vaihdelaatikko | 8. huoltonosturi | 9. levyjarru |
| 10. kytkin | 11. generaattori | 12. kääntövaihte |
| 13. turbiinin torni | 14. kääntökehä | 15. generaattorin jäähdytin |
| 16. turbiinin konehuoneen suojakotelo | | |

Tuuliturbiinin tornin alaosassa sijaitsevat myös päätaajuusmuuttajat, päämuuntaja ja verkkokatkaisijakojeisto.

Tuulivoimaloiden tekninen kehitys on ollut hyvin nopeaa Suomessa. Vuonna 2009 Suomen suurin tuuliturbiini oli teholtaan 3 MW, ja sen roottorin halkaisija oli 100 m. Tuuliturbiinin konehuone eli nacelle oli 100 metrin korkeudessa. Vuonna 2011 rakennettiin tuulipuisto, jossa turbiinien tornikorkeus oli 120 m ja roottorin halkaisija 110 m. Käytännössä tämä suhteellisen pieni lisäinvestointi tuuliturbiinin kokoon merkitsee huomattavaa tuotannon lisäystä, joka edelleen vähentää tuulisähkön tuotantokustannuksia. Vuonna 2013 suunnitellaan Suomeen rakennettavan jo 140 metrin korkuisia tuuliturbiineja, joiden teho on 3 MW ja roottorin halkaisija 120 m. Kyseisellä 25 %:n

investointilisäyksellä saavutetaan noin 50 %:n sähköntuotannon lisäys. Tämä taas alentaa sähkön tuotantokustannuksia 20 %. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2011, 7).



Kuvio 3. Pientuulivoimala liitettyä talon sähköjärjestelmään (Finnwind, 2013).

1. Tuulivoimalan roottorikoneisto
2. Masto, kaapelointi, pääsulake ja pääkytkin
3. Kaapelisyöttö tuuliturbiinista asuinrakennukselle
4. Taajuusmuuttajan suojausyksikkö
5. Ylijännitesuoja
6. Taajuusmuuttaja
7. Rakennuksen sähköpääkeskus

Voimalan toimintaperiaate:

Tuulen pyörittäessä voimalan roottoria voimalan koneistossa oleva generaattori alkaa kehittää vaihtojännitettä, joka siirretään kaapelointia pitkin asuinrakennukseen. Taajuusmuuttajassa sähkö muutetaan normaaliksi verkkojännitteeksi (230 V, 50 Hz), ja se kulutetaan esimerkiksi rakennuksen valaistuksessa. Taajuusmuuttaja ja sähköpääkeskus huolehtivat, että ylimääräinen sähkö voidaan syöttää takaisin paikalliselle energia-yhtiölle.

2.7 Auringon säteily ja vaikutus maapallolla

Aurinko on maapalloa lähinnä oleva tähti, jota maapallo sekä muut aurinkokuntamme muut planeetat kiertävät. Aurinko on kehittynyt noin 5 miljardia vuotta sitten, ja sen oletetaan vielä paistavan toiset 5 miljardia vuotta. Maapallo kiertää aurinkoa radalla, joka on ellipsin muotoinen. Maapallon välimatka aurinkoon nähden on lyhimmillään tammikuussa, ja kauimpana se on kesäkuussa. Maapallon kiertoakseli on kallistunut $23,5^\circ$ aurinkoon nähden, ja tämä aiheuttaa vuodenaikojen ja lämpötilojen vaihtelut. Tämän johdosta pohjoinen pallonpuolisko saa vähemmän auringonsäteilyä tammikuussa, kun taas eteläisellä pallonpuoliskolla on kesä. Maapallon ilmakehän yläosaan absorboituu auringon energiaa keskimäärin 1368 wattia yhden neliön alalle (W/m^2), ja kyseistä suuretta nimitetään aurinkovakioksi. Ilmakehän heijastavasta ja absorboivasta vaikutuksesta johtuen, saa maan pinta tästä säteilystä kirkkaalla säällä vain noin 60 % eli 800 - 1000 W / m^2 . Auringon korkeus maapalloon nähden vaihtelee eri vuodenaikoina, koska maapallo kiertää aurinkoa kallistuneen akselinsa ympäri. (Valjakka 2012, 4-11.)

Aurinko liikkuu päiväntasaajan, Kravun ja Kauriin kääntöpiirin välillä maapallon kiertäessä aurinkoa. Auringon sijainti esimerkiksi Suomeen nähden vaihtelee eri vuodenaikoina. Kauimpana aurinko on Suomesta talvipäivän seisahduksen aikana 21.12. ja silloin se on Kauriin kääntöpiirillä. Aurinko liikkuu kevättä kohden päiväntasaajalle, ja on siellä kevätpäivän tasauksen aikana 20.3. Aurinko jatkaa vielä liikkumistaan kohti pohjoista, ja lähimpänä Suomea se on kesäpäivän seisahduksen aikana 21.6. jolloin aurinko on Kravun kääntöpiirillä. Tämän jälkeen aurinko alkaa jälleen liikkua pois päin Suomesta, ja sama auringon liikerata jatkuu vuodesta toiseen toistuen.

2.8 Aurinkosäteily ja säteilyn saantimahdollisuudet Suomessa.

Etelä-Suomen saama auringonpaiste vaakatasolla ja koko vuoden aikana on noin 1000 kWh/m^2 , ja vastaavasti keski-Suomessa noin 900 kWh/m^2 . Auringon säteilyn tehokkuuteen vaikuttaa sitä vastaan ottavan laitteen, kuten sähköpaneelin, keräimen tai muun vastaanottimen suuntaus auringon tulokulmaa vasten. Auringon säteilyn ja pinnan välistä kulmaa kutsutaan tulokulmaksi. Paras tulokulma on silloin, kun auringon säde tulee keräimeen 0-asteen kulmassa. Auringon tulokulma keräävään laitteeseen vaihtelee päivän eri aikoina ja eri vuoden aikojen välillä. Yleensä järjestelmän ympäri-vuotisen käytön optimoimiseksi suuntauskulma tulisi asettaa etelää kohden, ja se voi vaihdella $\pm 45^\circ$ etelän suuntaan. Kyseisellä asettelulla häviöt jäisivät noin 7 %:iin, ja

jos laitteisto toimii vain kesällä, voidaan tulokulmaa optimoida vieläkin tarkemmin, jolloin häviöt jäävät vieläkin pienemmiksi. (Erat & Erkkilä & Nyman & Peippoo & Peltola & Suokivi 2008, 13–15.)

Taulukko 1. Auringonenergian vuosittainen saantimahdollisuus vaakatasossa Suomessa, ja eri puolilla maailmaa (Erat ym.200, 17).

| <u>Paikkakunta</u> | <u>Leveyspiiri / N (pohjoinen)</u> | <u>kWh /m² /vuosi</u> |
|--------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Helsinki | 60° 12` | 938 |
| Jokioinen | 60° 49` | 887 |
| Sodankylä | 67° 22` | 807 |
| Aden (Yemen) | 12° 24` | 2708 |
| El Paso (Texas) | 31° 48` | 2309 |
| New Delhi | 28° 35` | 1987 |
| Nairobi | 1 ° 18` | 1689 |
| Lissabon | 38° 43` | 1689 |
| Wien | 48° 15` | 1070 |
| Pariisi | 48° 49` | 1032 |
| Lontoo | 51° 31` | 1023 |
| Tukholma | 59° 40` | 993 |
| Kööpenhamina | 55° 40` | 976 |
| Hampuri | 53° 38` | 938 |
| Bergen (Norja) | 60° 24` | 908 |
| Pietari | 59° 58` | 908 |
| Reykjavik | 64° 08` | 798 |

Tarkastelemalla taulukkoa 1 voidaan havaita, että esimerkiksi Helsingissä vuotuinen aurinkoenergian saantimahdollisuus on samansuuruinen kuin Hampurissa. Tarkasteltaessa vieläkin eteläisimpiä paikkoja esimerkiksi Itävallan Wieniä, siellä auringon saantimahdollisuus on vain noin 14 % suurempi kuin Helsingissä. Tukholmassa saanti on noin 6 % suurempi kuin Helsingissä.

Taulukko 2. Keskimääräiset auringonpaistetunnit kuukausittain Helsingissä, Vaasassa, Joensuussa ja Utsjoella vuosina 1961 – 90 (Erat ym.200, 25).

| Kuukausi | Helsinki | Vaasa | Joensuu | Utsjoki |
|-----------------|-----------------|--------------|----------------|----------------|
| Tammikuu | 39 | 29 | 30 | 1 |
| Helmikuu | 72 | 72 | 69 | 36 |
| Maaliskuu | 130 | 131 | 131 | 116 |
| Huhtikuu | 183 | 190 | 174 | 168 |
| Toukokuu | 275 | 277 | 259 | 203 |
| Kesäkuu | 298 | 303 | 264 | 232 |
| Heinäkuu | 275 | 283 | 265 | 239 |
| Elokuu | 222 | 220 | 197 | 142 |
| Syyskuu | 135 | 131 | 114 | 84 |
| Lokakuu | 90 | 85 | 62 | 48 |
| Marraskuu | 37 | 40 | 24 | 7 |
| Joulukuu | 28 | 21 | 17 | 0 |

Taulukon 2 perusteella voidaan havaita, että Helsingissä auringon paistetta saadaan jo maaliskuussa. Aurinkotuntien määrä lisääntyy kesää kohden, vasta lokakuussa paistotuntimäärät alkavat vähetä. Taulukosta voidaan myös havaita, että kyseisenä tarkastelujaksona Vaasassa on ollut aurinkotunteja enemmän kuin Helsingissä.

Aurinkosähkövoimaloiden kapasiteetti on kasvanut massiivisesti koko 2000-luvun, keskimäärin kymmenen prosenttia vuodessa. Euroopan aurinkosähköteollisuuden etujärjestön EPIA:n mukaan, vuonna 2011 maailmassa kytkettiin sähköverkkoon 29,7 gigawattia aurinkosähköä, ja aurinkosähkön kokonaiskapasiteetti vuonna nousi siten 69 gigawattiin. Aurinkosähkö saavutti kolmannen sijan uusiutuvissa energioissa vesi- ja tuulivoiman jälkeen. Vuonna 2011 Euroopassa asennettiin 75 % koko maailman aurinkosähköstä eli 21,9 gigawattia. Italiassa asennettiin 9,3 gigawattia, ja Saksassa 7,5 gigawattia vuonna 2011. (Kimpanpää 2012, 34.)

Aurinkosähkötehoa oli vuonna 2011 asennettuna Euroopassa noin 52 gigawattia, ja Euroopan yksittäisissä maissa seuraavasti: Saksa noin 25 gigawattia, Italia noin 12 gigawattia, Espanja noin 5 gigawattia ja Ranska noin 2 gigawattia. Suomessa oli noin 1 megawatti, ja Ruotsissa 15 megawattia asennettua aurinkosähkötehoa vuonna 2011. (EPIA)

2.9 Aurinkosäteilyn hyödyntäminen

Auringon säteilyä voi hyödyntää passiivisesti tai aktiivisesti. Passiivisella hyödyntämisellä tarkoitetaan, että auringon tuomaa säteilyenergiaa ei varsinaisesti kerätä ja muuteta sähköenergiaksi. Esimerkiksi rakennuksissa voidaan hyödyntää auringon säteilyenergiaa passiivisesti siten, että valitaan rakennuksen sijainti siten että aurinko pääsee esteettömästi paistamaan rakennukseen. Lisäksi valitaan talon rakennemateriaalit siten, että ne kykenevät varastoimaan auringon säteilemää energiaa. Rakenteisiin voidaan asentaa erikoismateriaaliset ikkunalasit, jotka päästävät auringon lämmittävän säteilyn rakennuksen sisälle ja ne toimivat samalla hyvänä eristemateriaalina. Rakennusten ulkomateriaalina voidaan käyttää tummia hyvin säteilyä absorboivaa kivi- ja erilaisia seosmateriaaleja. Nykyisin kyseisiä rakennuksia kutsutaan passiivi- ja matalaenergiarakennuksiksi tai nollaenergiarakennuksiksi.

Aurinkoenergian aktiivisella hyödyntämisellä tarkoitetaan, että auringon säteily otetaan vastaan, eli kerätään, joko erillisillä keräimillä tai aurinkosähköpaneeleilla. Keräimissä

aurion säteilyenergia siirtyy keräimissä olevaan nesteeseen tai muuhun seosaineeseen. Lämmennyt siirtoaine siirretään keräimistä edelleen lämmönvaraajiin, joka välivarastoi lämpöenergian. Lämpövaraaja voi olla kytkettynä yleiseen lämmitysjärjestelmään. Aurinkosähköpaneelissa auringon säde saa aikaiseksi fotokemiallisen reaktion, joka muuttuu paneelissa sähköenergiaksi. Syntynyt sähköenergia siirretään erillisen säätimen kautta suoraan kulutettavaksi käyttökohteessa, tai se voidaan siirtää yleiseen sähköverkkoon. Sähköenergiaa voidaan myös välivarastoida akkuparistoihin, ja energiaa voidaan myöhemmin käyttää paristoista kulutuslähteisiin. (Erat ym. 2008, 72–75.)

Aurinkoenergiaa hyödyntävät järjestelmät poikkeavat perinteisistä normaaleista lämmitys- ja lämmönkeräysjärjestelmistä siinä suhteessa, että auringon saanti ja hyödyntäminen on hyvin epäsäännöllistä riippuen vuodenaajoista ja järjestelmän sijaintipaikasta. Perinteisenkin lämmitysjärjestelmän peruspolttoaineet ovat peräisin aurinkosäteilyn synnyttämästä ekosysteemistä. Ekosysteemin peruspolttoaineita ovat puu, hiili, öljy ja kaasut. Aurinkolämmitysjärjestelmät ottavat säteilyn aurinkoenergian suoraan talteen, ja siirtävät energian varastoon, josta se voidaan heti tai myöhemmin siirtää tarvittavaan käyttökohteeseen. (Erat ym. 2008, 72.)

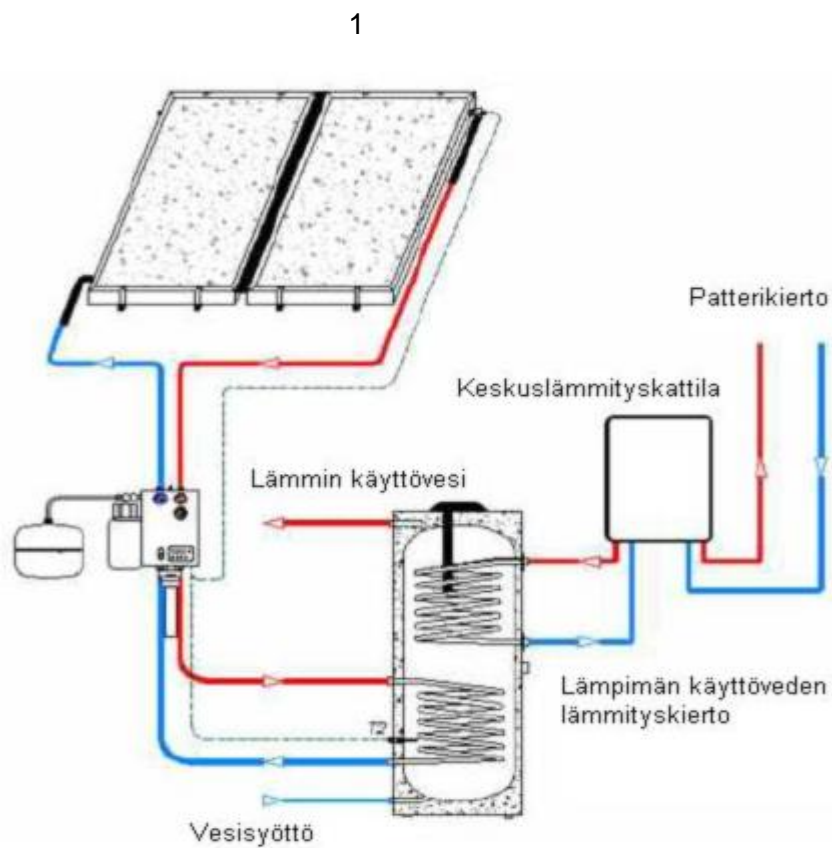
2.10 Aurinkovoimalaitteistot

2.10.1 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimet muodostuvat tyhjiöputkista, jotka on kasattu paketiksi. Kuvion 4 mukaisessa yhdessä keräinpaketissa voi olla 20–30 putkea. Keräinpaketteja voidaan taas edelleen kytkeä sarjaan, ja näin saadaan kasattua kokonainen keräyslaitteisto. Keräinputken periaatteellinen toiminta perustuu siihen, että auringon säde läpäisee putken ulomman lasipinnan, ja se osuu sen sisällä olevaan tummaan absorboivaan kalvopintaan. Näiden pintojen välissä on tyhjiö, joka eristää absorboituneen lämmön tehokkaasti. Keräimen sisällä on vielä kupariputki, joka sisältää helposti höyrystyvää nestettä. Tämä lämmennyt ja höyrystynyt neste tiivistyy nesteeksi, ja se nousee keräinputken yläosaan, jossa se luovuttaa energiaa keräinsysteemin siirtoaineena toimivalle vesi-glykoliseokselle. Vesi-glykoliseos siirretään eteenpäin esimerkiksi kiinteistön lämpövaraajalle, joka toimii osana asennuskohteen lämmitysjärjestelmässä. (Laitinen 2010, 94–95.)



Kuvio 4. Tasokeräimiä omakotitalon katolla (Ekoinno, 2013).



Kuvio 5. Aurinkokeräinsovellutus omakotitalon vedenlämmitysjärjestelmässä (Ekoinno, 2013).

Kuviossa 5 olevan aurinkokeräinjärjestelmän toimintaperiaate:

Aurinkokeräimiin (1) syntyy auringon säteilyn johdosta lämpöenergiaa, joka johdetaan pumppaamalla punaista putkistoa pitkin lämmönvaraajaan (2). Lämpövaraajassa on lämmönvaihdin, joka lämmittää varaajassa olevan veden. Varaajassa voi olla myös sähkövastus auringottomia päiviä varten. Varaajassa on myös keskuslämmityskattilan lämmönvaihdin.

2.10.2 Aurinkokeräinten kytkentä lämmitysjärjestelmiin

Aurinkolämmön soveltuvimmat käyttökohteet Suomen oloissa ovat sellaiset, joissa lämpöä tarvitaan myös aurinkoisempaan aikaan. Normaalissa pientalossa tarvitaan myös kesällä lämmintä käyttövettä, ja useasti eri kosteiden tilojen lisälämmitystä. Var-sinaisten huoneistotilojen lämmittämiseen ei aurinkokeräimien energiamäärä riitä.

Tyypillisen pientalon lämmitysenergian tarve on noin 20 000 kWh vuodessa, josta kuuluu noin 4000 kWh lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Aurinkokeräinjärjestelmällä pyritään tuottamaan noin puolet tästä energiatarpeesta vuodessa, jolloin auringolla tuotetun energian määrä on noin 10 % kokonaislämmitysenergian tarpeesta. (Erat ym.2008, 96–97.)

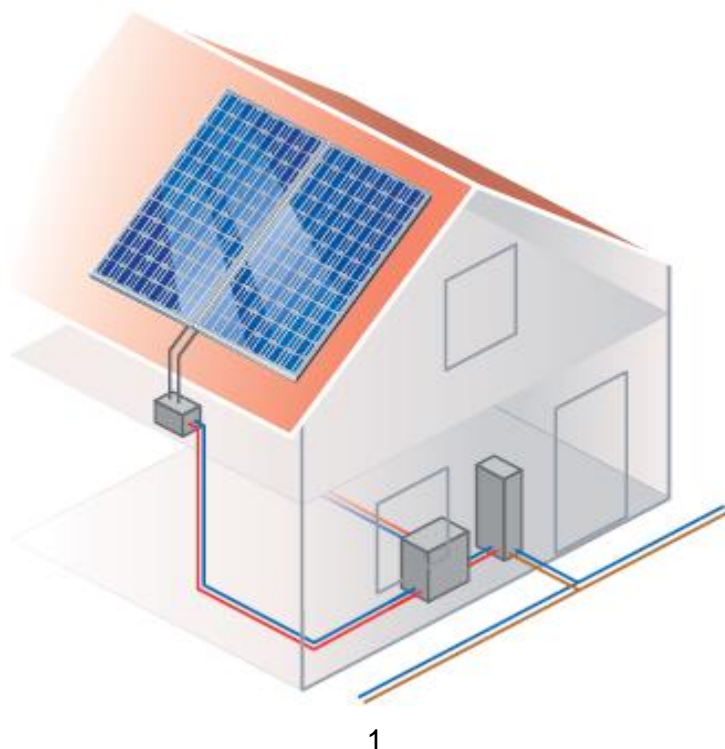
2.10.3 Aurinkosähköpaneeli

Aurinkosähkön hyödyntämismahdollisuudet havaittiin jo vuonna 1839. Mutta vasta 20 viime vuotta ovat olleet aurinkosähkösovellusten ja keksintöjen kiivainta kehitysaikaa. Erityisesti avaruusteknologiassa on aurinkosähkösovellutuksia kehitetty yhä useampiin sovellutuskohteisiin, mikä on myös edesauttanut sekä nopeuttanut aurinkoteknologiaa muissa kohteissa. Aurinkosähköpaneeli muodostuu sarjaan kytketyistä aurinkokennoista.

Itse aurinkokennot on valmistettu kaksikerrospuolijohdemateriaalista, joka on normaalisti johtamatonta ainetta, mutta kun auringon säde osuu kennoon, alkaa puolijohderajapinoilla syntyä sähkökemiallinen ilmiö. Ilmiö saa kennon pintojen välillä tasajännitteen, ja kun sarjaan kytketyt kennot eli aurinkopaneeli kytketään johonkin kulutuskuorman, syntyy sähkövirtaa kuorman ja paneelin välillä. Yhden kennon koko on noin 10 cm x 10 cm ja paksuus 0,1–0,4 mm. Yhden kennon jännite on noin 0,5 V tasajännitettä.

Kennoja voidaan kytkeä sarjaan lähes rajaton määrä, jolloin saadaan jo suuritehoinen aurinkopaneelijärjestelmä.

(Erat ym. 2008, 120 -121.)



Kuvio 6. Aurinkosähköpaneelijärjestelmän toimintaperiaate (JN-Solar, 2013).

Aurinkosähköpaneelijärjestelmän toimintaperiaate:

Katolla olevissa aurinkosähköpaneeleissa syntyy sähköenergiaa auringon säteilyn vaikutuksesta. Paneeleissa syntynyt tasajännite siirretään säätöyksikköön, joka muuttaa sähkön normaaliksi vaihtojännitesähköksi. Säätimestä vaihtojännitesähkö siirretään edelleen kulutussäätimeen, joka jakaa sähköön kulutuspisteille tai siirtää ylimääräisen sähkön paikallisen energiayhtiön jakeluverkkoon (1) pääkytkimen ja energiamittauksen kautta.

3 Tuuli- ja aurinkovoiman investointikustannukset

3.1 Investointiprosessin vaiheet

Investointiprosessin eteneminen on aina sidoksissa investoitavaan kohteeseen, itse

investoijaan ja investoinnin suunnittelukulttuuriin. Investointiprosessia voidaan tarkastella seuraan kuuden kohdan tarkastelun avulla:

1. Tutustumisvaihe: Pyritään määrittelemään investoinnin välttämättömyys ja se, mikä merkitys sillä on investoijan päämäärien saavuttamiseksi.
2. Etsintävaihe: Pyritään löytämään investoijan strategiaan sopivia vaihtoehtoisia investointikohteita. Investointikohteet pyritään kehittämään sille tasolle, että niistä voidaan tehdä selkeät investointiehdotukset.
3. Tiedonhankintavaihe: Hankitaan ja käsitellään tulevien investointivaihtoehtojen teknisiä, määrällisiä ja laatuun liittyviä tietoja. Tässä vaiheessa tutkitaan myös tulevien investointien tuottoja ja niihin liittyviä kustannuksia. Myös investointien epävarmuustekijät pyritään löytämään ja selvittämään.
4. Valintavaihe: Suoritetaan investointilaskelmat ja laadullisten tekijöiden arviointi. Laadullisiin tekijöihin kuuluvat ympäristövaikutukset ja niihin liittyvät asiat. Investointiprojektit pisteytetään ja asetetaan paremmuusjärjestykseen. Paras tai parhaat investointiprojekti tullaan tarkastelun jälkeen toteuttamaan.
5. Rahoitusvaihe: Päätetään investoinnin rahoitustavasta eli siitä, että missä suhteessa investoinnin kokonaiskustannusten rahoitukseen käytetään tulorahoitusta ja uutta oman tai vieraan pääoman ehtoista rahoitusta.
6. Investointiprojektin toteutus ja valvonta: Kun investoinnista on tehty lopullinen päätös, se tullaan toteuttamaan. Toteutukselle asetetaan aikataulu ja sitä valvotaan. Kun investointi on siinä vaiheessa että se alkaa tuottaa tuloa niin kertyviä kassavirtoja seurataan ja verrataan suunniteltuihin kassavirtoihin. (Niskanen & Niskanen 2007, 299.)

3.2 Tarkastelun lähtökohdat

Tarkastelussa verrataan suurtuulivoimalan, pientuulivoimalan, aurinkokeräinvoimalan ja aurinkosähköpaneelivoimalan sähkön- ja lämmöntuotannon kannattavuutta, sekä verrataan eri voimaloiden investointien kannattavuutta.

Kannattavuustarkastelu tehdään annuiteettimenetelmällä käyttäen 6 %:n reaalikorkoa ja maaliskuun 2013 hintatasoa. Kaikki laitteet ovat uusia, ja laskelmissa esimerkkeinä olevien pienvoimaloiden hintatiedot on saatu laitevalmistajien ja jälleenmyyjien laitehintatiedoista tai internetsivustoista. Suurtuulivoimaloiden hinnat ovat laite- ja projektikohtaisia, sekä ei julkisissa hankinnoissa yleensä salassapidon alaista tietoa. Suurvoimaloiden investointilaskelmissa on käytetty kansainvälisen Wind Energy-organisaation

yleisesti julkaistuja tietoja. Yleisesti voidaan todeta, että kaikkien tutkittavien voimaloiden hintataso on pysynyt vakaana tai laskenut kilpailun kiristyessä ja valikoiman laajentuessa. Lisäksi maailman laajuinen tämänhetkinen taloudellinen laskusuhdanne on vaikuttanut hintatasoon alentavasti.

Työssä tarkasteltavat aurinkokeräimet ovat yhteisteholtaan 7,5 kW, ja ne asennetaan Helsingissä olevan 140 m²:n omakotitalon käyttöveden lämmitysjärjestelmään.

Työssä tarkasteltavat aurinkosähköpaneelit ovat yhteisteholtaan 3 kW, ja paneelien yhteispinta-ala on noin 26 m² ja arvioitu vuosituotanto 3 000 kWh vuodessa. Paneelit asennetaan Helsingissä 140 m²:n omakotitalon katolle, ja ne kytketään talon sähköjärjestelmään.

Työssä tarkasteltava pientuulivoimalan teho on 4 kW. Sen maston korkeus on 18 m, ja se pystytetään Helsinkiin. Sen arvioitu huippukäyttöaika on 1000 tuntia vuodessa. Voimala kytketään 140 m²:n omakotitalon sähköjärjestelmään. (Finnwind.)

Työssä tarkasteltavat suurtuulivoimalaitokset pystytetään rannikkoseudulle, missä on hyvät tuuliolosuhteet. Tuulivoimaloiden nimellisteho on 3 MW, tornikorkeus on 100 m ja voimaloita pystytetään 5 kpl. Tuulivoimalat kytketään valtakunnan sähköverkkoon, ja niiden huipunkäyttöajaksi on arvioitu 2200 tuntia vuodessa. (VTT, 2011.)

Kaikki markkinoilla olevat korot määräytyvät rahan senhetkisen kysynnän ja tarjonnan perusteella. Yleisesti korkoihin vaikuttavat yleinen taloustilanne, kulloinenkin inflaatiotaso sekä tarjolla olevien lainainstrumenttien ominaisuudet. Korkotasoon vaikuttaa myös laina-aika, lainan jälleenmyyntikelpoisuus ja lainan myyjän luottokelpoisuus. Markkinoilla noteerataan korkoja, joita käsitellään nimellisinä korkoina. Nimellisissä koroissa on sisällä odotus tulevasta inflaatiosta eli rahan arvon vähenemisestä. Kun talouselämässä on olemassa inflaatio-odotuksia, nimelliskorot ovat korkeampia kuin vallitsevat reaalikorot, jotka edustavat markkinoiden tuottovaatimusta ilman inflaatioliisää. (Niskanen & Niskanen, 2007, 31.)

Tasaerä– eli annuiteettiperusteisessa rahan lainaussysteemissä maksettava lyhennys ja korko muodostavat lyhennyserän, joka on tasasuuruinen. Lainan budjetointi on suhteellisen helppoa annuiteettimenetelmän avulla. Annuiteettimaksua suoritetaan yleensä kuukausierinä, mutta lainaan voidaan soveltaa myös muita maksuaikoja. Annuiteetti-

luottojärjestelmässä kokonaiskorkokustannukset ovat korkeammat kuin vastaavanpituisen tasalyhennyksin maksettavan luoton korkokustannukset. Luotonottaja yleensä valitsee annuiteettiluoton, koska sen luotonhoitokulut (lyhennys ja korko yhteensä) ovat matalammat juoksuajan alussa, kuin tasalyhennyksin maksettavan luoton hoitokulut. (Tuhkanen 2006, 240–241.)

3.3 Investoinnin kannattavuuteen vaikuttavat seuraavat seikat

1. Investoinnin hankintakustannukset ja investoinnin jäännösarvo
2. Investoinnista saatavat vuotuiset tuotot
3. Investoinnin vuotuiset kulut
4. Investoinnin kokonaispitoaika
5. Laskentakorko, joka kohdistuu investointiin painotettuna keskimääräisenä pääoman kustannuksena. Investoinnin tuottovaatimus, diskonttauskorko ja pääomaan sitoutunut kustannus ovat merkitykseltään sama kuin laskentakorko. (Niskanen & Niskanen 2007, 300.)

Suomalainen pääomasijoittaja Capman sai suuren voiton vuonna 2007, kun se myi enemmistön omistamastaan tuuliturbiinin vaihteita valmistavasta Moventaksesta ruotsalaiselle pääomasijoittajalle Industri Kapitalille. Kauppahintaa ei koskaan julkaistu, muuta arvioiden mukaan, Capman sai kahden vuoden sijoitusajastaan nelinkertaisen voiton alkuperäiseen sijoitukseensa nähden. Tuulivoimateollisuudella meni vielä aina syksyyn 2008 saakka tosi hyvin, mutta loppuvuoden finanssikriisi muutti kaiken. Uusia tuulipuistoja ei enää rakennettu, koska velkarahaa ei ollut saatavilla. Perinteisesti tuulipuistot oli rahoitettu jopa 80-prosenttisesti velkarahalla. Pitkään valmisteltu tuulivoiman syöttötariffi eli takuuhinta tuli voimaan keväällä 2011. Hintatakuun ansiosta tuulivoimaan investoijien on helppo tehdä investointien kannattavuuslaskelmat. (Alkio 2011, 37.)

Sähköntuotantokapasiteetin muuttaminen vähähiiliseksi vuoteen 2050 mennessä vaatii eri sähköntuotantotavoista riippuen noin 30–60 miljardin euron suuruiset investoinnit. Kaikissa skenaarioissa tuotantotavoista riippumatta toteutuu jo 2010-luvulla suuria energia-alan investointeja. Tulevaisuudessa investointien suuruus myös riippuu oletetusta kokonaiskulutuksesta. Päätökset suurista energiantuotantoinvestoinneista joudutaan tekemään ennen kuin tuleva arvioitu energiankulutus on tiedossa, mikä vaikeuttaa ja mutkistaa investointipäätösten tekemistä käytännössä. Kaikissa skenaarioissa ole-

tuksena on, että tuuli- ja vesivoimaa sekä bioenergiaa tullaan käyttämään teknistaloudellisesti toteutettavissa oleva määrä. (Halonen & Kumpulainen & Vanhanen & Vehviläinen 2010, 79.)

3.4 Laskelma liittyen kuvion 5 mukaisen pientalon aurinkokeräinjärjestelmään

Pientalo on lämmityspinta-alaltaan 140 m², ja siinä asuu nelihenkinen perhe. Talon peruslämmitysjärjestelmänä on öljylämmitys. Aurinkolämmitysjärjestelmällä tuotetaan lisäenergia lämpimälle käyttövedelle. Järjestelmän mitoitusperusteena käytetään seuraavia suureita ja lähtötietoja:

- käyttöveden kulutus 80 litraa/henkilö/vuorokausi eli kokonaismäärä 320 litraa
- lämpökeräimien pinta-ala noin 2 m² henkilöä kohden
- lämpövaraaja 500 litraa
- lämpöenergian vuosituotto noin 5 500 kWh

Laitteisto:

1. Aurinkokeräimien yhteispinta-ala 8,5 m² ja kattokiinnitystuet
2. Putkisto
3. Lämmönvaraaja, sisältäen lämmön vaihtimen ja lisä sähkövastuksen
4. Kiertovesipumppu
5. Säädin ja ohjauslaitteet
6. Lämmönsiirtoneste
7. Muut pientarvikkeet

| | |
|------------------------------|----------------|
| Pakettihinta ilman asennusta | 3 650,00 euroa |
| Asennus ja käyttöönotto | 1 145,00 euroa |

Asennus ei sisällä muita rakenneteknisiä muutostöitä.

| | |
|--|----------------|
| Arvioidut lisätyöt ja tarvikkeet | 1 100,00 euroa |
| Järjestelmän kokonaishinta asennettuna | 5 895,00 euroa |

(Aurinkotukku, 2013).

3.5 Laskelma liittyen kuvion 6 mukaisen pientalon sähköpaneelijärjestelmään

Pientalo on lämmityspinta-alaltaan 140 m², ja siinä asuu nelihenkkinen perhe. Aurinkosähköpaneelijärjestelmällä tuotetaan sähköä pienkulutuslähteille kuten valaistukselle, ilmastoinnille, televisiolle, tietokoneelle ja mikroaaltouunille. Kyseisten kulutuslaitteiden vastaavat tehontarpeet ovat tyypillisesti:

- valaistus noin 350 W riippuen valaistustekniikasta
- ilmastointi 500 W
- televisio 50 – 300 W
- tietokone 200 W
- mikroaaltouuni 800 W

Aurinkosähköpaneelilaitteisto koostuu seuraavista komponenteista:

Aurinkosähköpaneelit, lukumäärä 16 kpl, yhteispinta-ala noin 27 m² ja kokonaisteho 3400 W, maksimituotto noin 3000 kWh/vuodessa, vaihtosuuntaajan, joka muuttaa paneelien tasajännitteen vaihtosähköksi ja kaksisuuntaisesta sähkön kulutusmittarista.

Kulutusmittari mittaa energiyhtiön verkosta kulutetun sähkön sekä sinne aurinkovoimalla tuotetun sähkön määrän.

| | |
|------------------------------|----------------|
| Pakettihinta ilman asennusta | 8 800,00 euroa |
| Asennus ja käyttöönotto | 2 100,00 euroa |
| (arvioitu) | |

Asennus ei sisällä betonin läpivientiporauksia ja muita rakenneteknisiä muutostöitä eikä järjestelmän liittämistä muuhun lämmitysjärjestelmään.

| | |
|--|-----------------|
| Järjestelmän kokonaishinta asennettuna | 10 900,00 euroa |
| (Finnwind, 2013). | |

3.6 Laskelma liittyen kuvion 3 mukaisen pientuulivoimalan liittäminen talon sähköjärjestelmään

Pientalo on lämmityspinta-alaltaan 140 m², ja siinä asuu nelihenkinen perhe. Tuuliturbiinilla tuotetaan pientaloon sähköä pienkulutuslähteille kuten valaistukselle, ilmastoinnille, televisiolle, tietokoneelle ja mikroaaltouunille. Kyseisten kulutuslaitteiden vastaavat tehontarpeet ovat tyypillisesti:

- valaistus noin 350 W riippuen valaistustekniikasta
- ilmastointi 500 W
- televisio 50–300 W
- tietokone 200 W
- mikroaaltouuni 800 W

Tuulivoimalalaitteiston kokoonpano:

Tuulivoimalan nimellisteho: 4 kW

Masto: 18 m

Sähkön tuotto alkaa tuulennopeudella: noin 2,5 m/s

Taajuusmuuttaja ja muu ohjauslaitteisto

Sähkökaapelit

Tuulivoimalan tuotantoennuste Helsingissä Kumpulassa:

Ilmatieteenlaitokselta saadun tiedon mukaan, Kumpulassa oli vuonna 2012 keskituulen nopeus mitattuna 32 metrin korkeudelta 4,5 m/s. Jos tämä tuulennopeus redusoidaan noin 18 metrin korkeudelle, niin tuulen keskinopeus olisi arviolta noin 4,0 m/s.

(Ilmatieteen laitos, 2013).

Tuuliturbiini tuottaa keskituulella 4,0 m/s 4800 kWh sähköä vuodessa.

Perustuu valmistajan energian tuottokäyrään.(Finnwind, 2013).

| | |
|---|-----------------|
| Laitteisto asennettuna ja käyttöön otettuna | 18 600,00 euroa |
| Maston perustatyöt (arvio) | 1 000,00 euroa |

Asennus ei sisällä betonin läpivientiporauksia ja muita rakenneteknisiä muutostöitä eikä järjestelmän liittämistä muuhun lämmitysjärjestelmään.

| | |
|--|-----------------|
| Järjestelmän kokonaishinta asennettuna | 19 600,00 euroa |
|--|-----------------|

(Finnwind, 2013).

3.7 Laskelma liittyen kuvion 2 tyyppisen suurtuuliturbiinin investointiin

Tuulipuisto käsittää 5 kpl 3,0 MW 100 metrin roottorinhalkaisijalla ja 100 m tornilla varustettua tuuliturbiinia. Tuulipuisto tulee sijaitsemaan lähellä meren rantaa.

Tarkastelun lähtökohtana käytetään 2,0 MW tuuliturbiinin hinnoittelua Euroopassa vuonna 2006. Tuuliturbiinien keskimääräinen investointihinta on noin 1230 miljoonaa euroa megawattia kohden.

Taulukko 3. 2,0 MW tehoisen tuuliturbiinin keskimääräiset investointikustannukset Euroopassa vuonna 2006. (Wind Energy, 2006).

| Investointikohde | Kustannus /euroa/ MW | % - osuus |
|-----------------------------|----------------------|------------|
| Turbiini | 928 000 | 75,6 |
| Perustusrakenne | 80 000 | 6,5 |
| Sähköasennukset | 18 000 | 1,5 |
| Sähköverkkoliityntä | 109 000 | 8,9 |
| Ohjaus – ja säätölaitteisto | 4 000 | 0,3 |
| Konsultointi | 15 000 | 1,2 |
| Maa-alue | 48 000 | 3,9 |
| Rahoituskustannukset | 15 000 | 1,2 |
| Kulutiet turbiinille | 11 000 | 0,9 |
| Kokonaiskustannukset | 1 227 000 | 100 |

Taulukon 3 mukaiset kustannukset ovat keskimääräisiä, ja todelliset kustannukset vaihtelevat eri Euroopan maissa, joten todelliset investointikustannukset ovat 1 000–1350 euroa kilowattituntia kohden. Taulukon perusteella suurimman kustannuksen muodostaa itse tuuliturbiini. Seuraavaksi suurimman kustannuserän muodostavat turbiinin liitännäkustannukset suujänniteverkkoon. Asennusperustusten tekemisen osuus voi vaihdella, koska perustusten tekniset ominaisuudet riippuvat hyvin paljon maaperän laadusta. Kyseinen hinnoittelu perustuu keskimääräiseen hinnoitteluun Euroopassa. Esimerkiksi Suomessa turbiinitoimittaja vastaa yleensä turbiinin rahti- ja pystytyskustannuksista, jotka sisältyvät turbiinin myyntihintaan. (Wind Energy.)

Lisäksi suurtuulivoimalan ylläpitämiseen liittyy turbiinien kunnossapito ja huoltotyöt. Investoija sopii yleensä tuuliturbiinin toimittajan kanssa erillisen huolto- ja kunnossapitosopimuksen. Huolto- ja kunnossapitosopimus voi olla jopa kestoaltaan 20 vuotta, ja sopimus voi pitää sisällään myös käytettävyydestä eli turbiinitoimittaja takaa turbiinille tietyn käytettävyyden.

David Milborrow on artikkelissaan Braking down the cost of wind turbine maintenance käsitellyt tuulivoima-alalla olevia erilaisia huoltosopimusmalleja, jotka voivat vaihdella kestoaltaan kahdesta vuodesta aina kahteenkymmeneen vuoteen asti. Huoltopalveluveloitus voi perustua esimerkiksi 3 – 5 % tuulipuiston kokonaisinvestointikustannuksesta, tai se voi perustua tuotettuun tehoon. Viimeisissä kansainvälisissä 12:sta eri maasta kerätyn tiedon perusteella käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat olleet 7– 26 euroa megawattia kohden. Kustannukset ovat riippuvaisia tuulipuiston koosta ja sijainnista. (Milborrow.)

3.8 Laskelmissa vertailukohteena käytetty öljy- ja sähkölämmiteinen pientalo

Helsingissä sijaitseva pientalo on lämmityspinta-alaltaan 140 m², ja siinä asuu nelihenkilinen perhe. Talossa on kiertovesilämmitys, ja lämmin käyttövesi lämmitetään öljylämmityskattilalla. Lämmitysjärjestelmään on liitetty 2000 litran lämpövesivaraaja.

Pientalon vuotuinen öljynkulutus on keskimäärin 2500 litraa vuodessa.

Öljyn litrahinta vuonna 2012 oli keskimäärin 1,10 euroa/litra.

Pientalon lämmityksen ja käyttöveden lämmittämisen kustannus vuodessa:

$$2500 \text{ litraa} \times 1,10 \text{ euroa/litra} = 2\,750,00 \text{ euroa}$$

Lisäksi pientalossa kului sähköä valaistuksessa, sähkökiukaan lämmittämässä noin kerran viikossa ja muissa sähkölaitteissa yhteensä 3100 kWh vuodessa. Helsingin Energian sähkön hinta sisältäen verot ja siirtohinnat oli vuonna 2012 keskimäärin 15,6 senttiä kilowattitunnilta.

Pientalon sähkökulutuksen kustannus vuodessa:

$$3100 \text{ kWh} \times 0,156 \text{ euroa/kWh} = 483,60 \text{ euroa}$$

Lämmityksen ja sähkön kokonaiskustannukset vuodessa:

2750,00 euroa + 483,60 euroa = 3 233,60 euroa

Jos kyseisen pientalon lämmittäminen ja lämpimän käyttöveden lämmitys tehtäisiin sähköllä, sekä jos muut sähkökulutuslaitteet olisivat vastaavanlaiset kuin öljylämmittäessä talossa, olisi talon kokonaissähkönkulutus noin 23 000 kWh vuodessa.

Kokonaiskustannukset sähköllä vuodessa:

23 000 kWh x 0,156 euroa/kWh = 3 588,00 euroa

4 Investointikustannusten vertailu

4.1 Investointien vertailussa käytettävät mallit ja kaavat

Kaikissa taulukon 4 investointikohteissa otetaan lainaa investoinnin verran, ja pientuotosten investointien taloudellinen elinikä on 15 vuotta. Suurturbiinissa taloudellinen elinikä on 20 vuotta. Annuiteettitekijän mukaan laskettu vuosimaksu maksetaan kerran vuodessa.

Taulukko 4. Investointilaskelmat eri energiatuotantotapojen välillä.

| | Aurinkokeräin | Aurinkopaneeli | Pientuuliturbiini | 3MW turbiini (1kpl) |
|-------------------------------|---------------|----------------|-------------------|------------------------|
| Energian tuotto kWh (vuosi) | 5 500 | 3 000 | 4 800 | 6 600 MWh |
| Investointi Euroa | 5 900 | 10 900 | 19 600 | 3,69 milj. euroa |
| Taloudellinen elinikä (vuosi) | 15 | 15 | 15 | 20 |
| Reaalikorko % | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Annuiteettitekijä | 0,1030 | 0,1030 | 0,1030 | 0,0872 |
| Vuosimaksu euroa | 607,70 | 1 122,70 | 2 018,80 | 0,322 milj.euroa |

Laskelmissa ja taulukossa 4 käytetyn annuiteettitekijän C määrittämiseksi käytetään oheista kaava (1). n = maksujen lukumäärä ja i = reaalikorkoprosentti vuodessa.

$$C = \frac{ix(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (1)$$

Laskelmissa on otettu lainaa investoinnin verran, ja lainaa lyhennetään annuiteettiteki-
jän verran joka investointivuoden lopussa. Esimerkiksi aurinkokeräinjärjestelmän vuosi-
lyhennysmaksu määräytyy kaavan 1 mukaan seuraavasti:

$$C = \frac{0,06x(1+0,06)^{15}}{(1+0,06)^{15}-1} = 0,1030$$

Vuosimaksu = 0,1030 x 5 900 euroa = 607,70 euroa

Taulukon 4 perusteella voidaan todetta, että edullisin vaihtoehto lisäenergian tuottajana
on lämmönkeräinjärjestelmä. Se tuottaa hintasuhteeltaan myös eniten energiaa. Seu-
raavaksi edullisin vaihtoehto on aurinkosähköpaneelijärjestelmä, ja kallein on selvästi
pientuuliturbiini.

4.2 Aurinkokeräinjärjestelmän kustannusvertailu

Verrattaessa aurinko- ja tuulienergian vaikutusta ja kustannusta lisäenergian lähteenä
tässä työssä esimerkkinä olevaan öljylämmitteiseen pientaloon, voidaan tehdä seuraa-
via päätelmiä. Kyseisen talon öljykulutus on 2500 litraa vuodessa ja tämä öljymäärä
maksaa 2 750 euroa. Kyseinen öljymäärä tarvitaan vuodessa pientalon lämmittämi-
seen sisältäen myös lämpimän käyttöveden lämmityksen, ja tämä öljymäärä vastaa
energiateholtaan noin 20 000 kWh.

Aurinkokeräin tuottaa noin neljäsosan tästä energiasta, ja rahassa se tarkoittaa 0,25 x
2750 euroa eli noin 687 euroa. Teoreettisesti tarkasteltaessa aurinkokeräinjärjestelmä
investointina tuo noin 80 euroa säästöä lisäenergiana vuodessa. Tässä tapauksessa
täytyy tietenkin olettaa, että pientalon lämminvesivaraajaan voidaan asentaa aurinko-
keräinjärjestelmän lämmönvaihdin. Uusimmissa lämminvesivaraajissa on jo vakiona
lisälämmönvaihdinliitännät.

4.3 Aurinkosähköpaneelijärjestelmän kustannusvertailu

Tarkastellaan aurinkosähköpaneelijärjestelmän merkitystä lisäenergian lähteenä tässä
työssä esimerkkinä olevaan suorasähkölämmitteiseen pientaloon. Pientalon kokonais-

sähkönkulutus on 23 000 kWh, ja tämä määrä ostosähköä maksaa 3 588 euroa vuodessa.

Aurinkopaneelin tuotto on 3000 kWh vuodessa eli kyseisen talon sähkökulutukseksi jää 20 000 kWh, ja tämä määrä ostosähköä maksaa 3 120 euroa. Aurinkosähköpaneelijärjestelmä tuo säästöä 468 euroa sähkön kokonaiskulutukseen vuodessa. Vähennettäessä investoinnin vuosimaksusta 1 122 eurosta 468 euroa jää vuosimaksuksi 654 euroa.

4.4 Pientuulivoimalan kustannusvertailu

Kun tarkastellaan pientuuliturbiinin tuottaman lisäsähkön vaikutusta työssä esimerkkinä olevan suorasähkölämmitteisen pientalon sähkökulutukseen, joka on vuodessa 23 000 kWh, voidaan päätellä seuraavaa.

Tuuliturbiini tuottaa vuodessa 4 800 kWh eli talon kokonaissähkönkulutukseksi jää 18 200 kWh, ja tämä määrä ostosähköä maksaa 2839 euroa. Tuuliturbiini tuo säästöä 749 euroa sähkön kokonaiskulutukseen vuodessa. Vähennettäessä investoinnin vuosimaksusta 2 018 eurosta 749 euroa, jää vuosimaksuksi 1 269 euroa.

4.5 Päätelmät tutkituista kolmesta pienimuotoisesta lisäenergiatuotannosta ja kustannuksista

Laskelmien tulosten perusteella näyttää siltä, että aurinkolämpökeräinjärjestelmä on investoinniltaan kannattava, ja se on myös hankintahinnaltaan edullisin vaihtoehto. Aurinkosähköpaneelijärjestelmä on seuraavaksi edullisin tutkituista vaihtoehdoista. Jos aurinkosähköpaneelijärjestelmän kokoa kasvattaa esimerkiksi siten, että sen tuotto on 10 000 kWh keskimäärin vuodessa eli aurinkoisina kesäpäivinä laitteiston hupputuotto voi olla esimerkiksi 15 000 kWh. Jos näin suurta sähkömäärää ei pysty kuluttamaan omassa talossa, voi ylimääräisen sähkön myydä verkkoyhtiölle. Verkkoyhtiö ostaa ylimääräsähkön perustuen kulloiseenkin spot-hintaan, joka esimerkiksi vuoden 2013 alussa on ollut noin 5 senttiä kilowattitunnilta, eli se vastaa noin kolmasosaa siitä hinnasta mitä sähköyhtiö kuluttajalta veloittaa. Esimerkiksi jos kesällä voidaan myydä 5 000 kWh tuotettua omaa sähköä verkkoyhtiölle, saadaan siitä korvaukseksi 250 euroa. (Tilastokeskus.)

Tässä tutkielmassa pientuuliturbiinin tarkastelu kyseisessä asennuspaikassa on hyvin teoreettinen. Kaupunkien asemakaavat ja rakennusviranomaiset eivät salli pystyttää työssä olevaa tuuliturbiinia kaupunkialueelle. Tuuliturbiini tulisi pystyttää alueelle, missä on suurempi keskituulen nopeus, ja itse turbiinin tulee olla korkeammalla kuin 18 metriä maan pinnasta, koska korkeammalla tuulee enemmän. Lisäksi tuuliturbiinin tuottaman sähkötehon tulisi olla suurempi.

4.6 Vertailtavana olevan 3 MW suurtuulivoimalan investointikustannukset ja Suomen valtion maksaman tuotantotuen vaikutus investointiin

Taulukossa 4 on laskettu yhden 3 MW tuuliturbiinin investointikustannukset. Työssä tarkastellaan tuulipuistoa, jossa on viisi kappaletta 3 MW tehoisia tuuliturbiineja. Suuren tuuliturbiinien taloudellinen käyttöikä on nykyään vähintään kaksikymmentä vuotta.

Tuuliturbiinin energian tuotto perustuu VTT:n julkaisemaan tuulivoiman tuotantotilastoihin, joista käy selville, että 3 MW tuulivoimalan huipunkäyttötunnit ovat keskimäärin 2200 tuntia vuodessa. (VTT, 2011.)

Yksi turbiini tuottaa vuodessa sähkötehoa $3 \text{ MW} \times 2200 \text{ h} = 6\,600 \text{ MWh}$. Jos oletetaan, että tuuliturbiinit on otettu käyttöön vuoden 2012 alusta, saa investoija vuoden 2015 loppuun korotettua tuotantotukea eli 105,30 euroa megawattitunnilta ja vuoden 2023 loppuun asti 83,50 euroa megawattitunnilta. Tässä esimerkissä korotettuja tukivuosia tulee 4 vuotta, ja alemmaa tukea 8 vuotta. Laskelmat suoritetaan 12 käyttövuoden perusteella, koska nyt ei tiedetä, mikä tulee olemaan tuen määrä 12 vuoden jälkeen.

Tuotetusta energiasta tullaan saamaan taattu korvaus 12 käyttövuoden aikana:

Yhden turbiinin tuotto korotetun syöttötariffin aikana neljässä vuodessa on

$$4 \times 6\,600 \text{ MWh} \times 105,30 \text{ euroa/MWh} = 2\,779\,920 \text{ euroa.}$$

Yhden turbiinin tuotto alemman syöttötariffin aikana kahdeksassa vuodessa:

$$8 \times 6\,600 \text{ MWh} \times 83,50 \text{ euroa/MWh} = 4\,408\,800 \text{ euroa.}$$

Yhden turbiinin tuotto koko tuetun syöttötariffin aikana on 12 vuodessa: 7 188 720 euroa.

Puiston kaikkien viiden turbiinin kokonaistuotto 12 vuoden aikana:

$$7\,188\,720 \times 5 = 35\,943\,600 \text{ euroa}$$

Työssä aikaisemmin sivulla 34 käsiteltiin tuuliturbiinin huolto- ja kunnossapitokustannuksia. Tässä esimerkissä oletetaan, että huoltokustannukset ovat 11 euroa tuotettua megawattituntia kohti. Yhden turbiinin huoltokustannukset vuodessa ovat siten $6\,600 \text{ MWh} \times 11 \text{ euroa} = 72\,600 \text{ euroa}$. Viiden turbiinin huoltokustannukset ovat 12 vuoden aikana $5 \times 12 \times 72\,600 \text{ euroa} = 4\,356\,000 \text{ euroa}$.

Puiston viiden turbiinin tuleva tuotto 12 tuetun tuotantovuoden aikana:

Sähköstä saatu tuotto – huoltokustannukset – investointikustannukset =
tuulipuiston tuotto

$35\,943\,600 \text{ euroa} - 4\,356\,000 \text{ euroa} - (5 \times 12) \times 322\,000 \text{ euroa} =$
 $12\,267\,600 \text{ euroa}$.

Tuuliturbiinit tuottavat sähköä vielä seuraavat 8 vuotta, mutta tuotanto ei saa tukea. Oletetaan että sähkön spot-markkinahinta on keskimäärin 40 euroa megawattitunnilta. (Markkinasähkö.)

Laskelma sähkön tuotanto:

$5 \times 8 \times 6\,600 \text{ MWh} \times 40 \text{ euroa/MWh} = 10\,560\,000 \text{ euroa}$.

Huoltokustannukset kahdeksan vuoden aikana:

$5 \times 8 \times 11 \text{ euroa / MWh} \times 6\,600 \text{ MWh} = 2\,904\,000 \text{ euroa}$.

Lainanlyhennys: $8 \times 5 \times 322\,000 \text{ euroa} = 12\,880\,000 \text{ euroa}$

Viimeisenä 8 käyttövuoden aikana tuulipuisto tuottaa tappiota 5 224 000 euroa, mutta koko lasketun 20 käyttövuoden aikana tuulipuisto tuottaa voittoa 7 043 600 euroa.

4.7 Tuuli- ja aurinkovoimalla tuotetun sähkön liittäminen yleiseen sähköverkkoon

Suurtuulivoimaloiden liittäminen yleiseen sähköverkkoon Suomessa sovitaan sähköverkon haltijan, viranomaisten ja Fingrid Oy:n kanssa. Fingrid:llä on ehdot ja vaatimukset, jotka koskevat tuulivoimalla tuotetun sähkön laatua. Fingrid on laatinut erilliset yleiseen verkkoon liittymisvaatimukset, joita tuulisähkön tuottajan tulee noudattaa. Viranomaiset käsittelevät lupa-asioita ja rekisteröintiä, sekä huolehtivat tuotantotuen maksujärjestelmästä.

Pienimuotoisen tuuli- ja aurinkosähköntuotannon liittäminen yleiseen sähköverkkoon tulee aina sopia jakeluverkon haltijan kanssa. Sähkön tuottaminen on Suomessa kaikille vapaata, paitsi ydinvoima vaatii Valtioneuvoston erillisluvan. Pientuottajan tulee huomioida ja täyttää paikallisen jakeluverkon haltijan verkakoonliityntävaatimukset. Sähköä joka on itse tuotettua ja jota käytetään omissa kulutuslaitteissa, kutsutaan omakäyttösähköksi. Pientuottajan ei tarvitse maksaa tuetusta sähköstä, jonka tuottaja luovuttaa yleiseen sähköverkkoon, valmisteveroa tai huoltovarmuusmaksua. Pientuottaja maksaa vain yli oman käytön kuluttamastaan sähköstä arvonlisäveroa. Jos pientuottaja tuottaa enemmän kuin 50 kilovoltiampeerin nimellistehon, tällöin tuottajasta tulee valmistevero- ja huoltovarmuusverovelvollinen. (Motiva.)

4.8 Sähköenergian hinnoittelu Nord Pool-sähköpörssissä

Nord Pool, The Nordic Power Exchange on vuonna 1993 perustettu monikansallinen sähköpörssi. Sen omistavat pohjoismaiset kantaverkkoyhtiöt, ja suomalainen Fingrid Oy on yksi sen omistajista. Nord Pool Oy edustaa Suomessa Nord Poolia, joka on sähkön markkinapaikka. Nord Poolissa käydään kauppaa tunti hinnoittelutasolla fyysisillä tuotteilla, sähkökauppaa kutsutaan elspot-kaupaksi. Nord Pool on pohjoismainen sähköpörssi, joka tarjoaa yleisesti sähkön kaupankäynnissä tunnustetun markkinahinnan sähkölle. (Markkinasähkö.)

Esimerkiksi Helsingin Energia on aloittanut uuden palvelun, jossa se ostaa aurinkopaneelilla tuotetun sähköenergia, jota kuluttaja ei itse käytä. Helsingin Energia maksaa sähköstä kuluttajalle takaisin Nord Pool –sähköpörssin mukaisen markkinahinnan, joka on esitetty kuviossa 7 sivulla 38.

Vaihtoehtoinen energian tuotanto ei tule enää kauan olemaan vaihtoehtoista. Vaihtoehtoisen energian tuottamiseen on tähän asti liitetty käsite tuotettu tuotanto. The Economist –lehden tiede- ja teknologiatoimittaja Geoffrey Carr on käsitellyt aihetta artikkelissaan Sunny uplands, Alternative energy will no longer be alternative. Artikkelin kertoo vaihtoehtoisten energioiden kehityksestä. Carrin mukaan vuosi 2013 tulee olemaan käänteen tekevä vuosi, koska vaihtoehtoista energian tuotantoa ei enää ajatella sanalla vaihtoehtoinen. Vihreän energian tuotanto on merkinnyt veronmaksajalle ylimääräisiä veromaksuja. (Carr 2013.)

Tällä hetkellä tuulivoimalla tuetettu sähköenergia kattaa kaksi prosenttia maailman kokonaissähköntarpeesta. Tuulella tuetettu energia kaksinkertaistuu joka kolmas vuosi, mikä merkitsee sitä, että tuulella tuotettu sähkö ohittaa kaikissa maailman atomivoimaloissa tuotetun sähkön tulevan vuosikymmenen kuluessa. Suurin muutos tullaan Carrin mukaan näkemään aurinkoenergian tuotannossa. Aurinkoenergia vastaa nyt vain 0,25 %:a maailman energiatuotannosta, mutta esimerkiksi viime vuonna 2012 aurinkoenergian tuotanto kasvoi 86 %:a. Carrin mukaan aurinkoenergia tulee muuttamaan sähkömarkkinat radikaalisti lähitulevaisuudessa. Yksi merkittävin syy muutokseen on aurinkopaneelien valmistamisessa käytettävien pulijointeiden halpeneminen. Vuonna 1977 aurinkopaneeli maksoi 74,6 US dollaria wattia kohden, ja alkuvuonna 2013 hinta oli 0,7 US dollaria wattia kohden. Uuden aurinkovoimalan valmistamiskustannukset ovat neljä dollaria wattia kohden, mutta kustannusten arvioidaan halpenevan vielä tästäkin kun rakennustekniikoita kehitetään edelleen. On vielä muistettava tärkeä seikka, kun puhutaan aurinkovoimalasta, aurinkovoimalan käyttäminen on ilmaista, koska polttoaine ei maksa mitään. (Carr 2013.)



Kuvio 7. Nord Pool Spot –sähköpörssin sähköhinnan kuukausikeskiarvot (Tilastokeskus, 2013).

Kuviossa 7 Elspot-aluehinta tarkoittaa Suomessa noteerattua sähkön hintaa, mikäli sähkön siirtokapasiteettia ei ole tarpeeksi. Elspot-systeemihinta on koko sähköpörssi-alueelle lähetettyjen osto- ja myyntitarjousten keskihinta, jossa ei ole huomioitu mahdollisia siirtorajoituksia. Esimerkiksi Suomessa oli tammikuun 2013 alussa sähkön spot-hinta noin 48 euroa megawattituntia kohden.

5 Yhteenveto

5.1 Pienimuotoisen aurinko- ja tuulivoiman käyttö lisäenergialähteenä

Laskelmien perusteella pientalon lisäenergian tuottajaksi kannattaisi hankkia aurinko-keräinjärjestelmä, joka oli myös edullisin vaihtoehto. Edellytykset järjestelmälle asentamiselle on, että aurinko pääsee esteettömästi paistamaan keräinpinoille ja keräinpinnat on helppoa pitää puhtaana esimerkiksi lumesta. Uudisrakennuskohteessa voidaan jo rakennusvaiheessa suunnitella aurinkokeräinjärjestelmän asennus, ja tällöin voidaan huomioida tulevan keräinjärjestelmän vaatimukset esimerkiksi lämminvesivaraajassa. Tutkimuksen perusteella lämmönkerääjäjärjestelmä pystytään liittämään kohdalaisen helposti öljylämmitteisen pientalon päälämmitysjärjestelmään.

Työssä tutkittua aurinkosähköpaneelijärjestelmää ei laskelmien perusteella kannata investoida, ja järjestelmän tulisi olla energiatuotoltaan huomattavasti suurempi. Suurempaan järjestelmään ei taas kannata investoida, koska järjestelmällä tuotetusta ylimääräsähköstä saa niin alhaisen tuotantohinnan. Esimerkiksi Tanskassa ja Saksassa pientuottaja saa merkittävän tuotantotukitapaisten korvauksen tuottamastaan ylimääräsähköstä.

Oman tuotannon kannustus on pisimmällä Tanskassa, jossa omakotitalotyyppisen rakennuksen omatuotantoa tuetaan haja-asutusalueella, joka ei ole edullisen kaukolämpöjakeluverkon alueella. Kuluttajat voivat asentaa enintään 6 kW omaa tuotantotehoa, joka voi olla tuulivoimaa, aurinkovoimaa tai biomassaaenergiaa. Tuotanto voidaan syöttää sähköverkkoon, ja tuottaja saa siitä korvauksen, joka on 28 senttiä kilowattituntia kWh kohden. Valtion ei tässä tapauksessa tue tuotantoa, vaan korvaus saadaan energiayhtiöiltä. (Eklund 2013, 23.)

Työssä tutkitun pientuulivoimalan pystyttäminen esimerkiksi kaupunkialueelle on lähes mahdotonta, koska kaupungin viranomaiset eivät anna lupaa pystyttämään korkeata mastoa taajama-alueelle ja yleensä naapuritkin vastustavat erikoisrakenteita. Pientuulivoimala on myös investointikustannuksiltaan kallein ja myöskään pientuotantomuotoista tuulisähköä ei tueta. Sähkön tuottaminen pientuulivoimalla tulisi ehkä kannattavaksi, jos tuulivoimala olisi tarpeeksi suuri ja se sijainti olisi tuulisella alueella. Lisäksi tuotantoa pitäisi tukea esimerkiksi Tanskan mallin mukaan.

Työssä tutkittujen pientuotantojärjestelmien investointilaskuissa ei ole otettu huomioon mahdollisia huolto- ja ylläpitokustannuksia. Aurinkoenergiajärjestelmissä huoltokustannukset eivät todennäköisesti ole merkittäviä, mutta pientuulivoimalassa huoltokustannuksilla voi olla jo merkitystä, varsinkin jos tuulivoimala on pois tuotannosta vikatilanteessa hyvätuulisena aikana.

5.2 Sähkön tuotanto suurtuulivoimaloilla

Työn alussa todettiin, että EU edellyttää Suomen lisäävän huomattavasti uusiutuvilla energiamuodolla tuotetun sähkön määrää. Tuulivoiman osalta tämä lisäys merkitsisi sitä, että nykyinen 288 MW tuulivoimateho tulisi lisätä noin 2500 MW:iin. Laskelmissa todettiin, että esimerkiksi jos tuotetusta sähköstä saa 40 euroa megawattitunnilta, niin investointi ei kannata. Todennäköisesti myös tutkittujen tuuliturbiinien huoltokustannukset ovat liian korkeita. Nykyään Suomessa energiayhtiöt ja osakeyhtiömuotoiset investointiyhtiöt investoivat tuulivoimaan. Energiayhtiöt voivat helpommin investoida tuulivoimaan, koska niillä on yleensä muutakin markkinoille myytävää sähköntuotantoa ja tuulivoimalla tuotettu sähkö ei muodosta tällä hetkellä suurta osaa energiayhtiön koko sähkötaseesta. Investointiyhtiölle tuulivoima on sijoituskohde, josta tulee saada sijoittajille normaalin liiketoiminnan mukaista vähimmäistuottoa.

Edellytykset tuulivoimatuotannolle on, että tuulivoimapuisto sijaitsee tuulisella alueella ja tuuliturbiinien käytettävyyssaste on mahdollisimman korkea. Tässä työssä ei otettu kantaa tuulipuiston kokoon eli siihen, mikä olisi optimilukumäärä tuuliturbiineita tuulipuistoa kohden. Tuulipuiston optimikoon määrittämiseen liittyy lukusia asioita ja selvityksiä. Pienenkin tuulipuiston koko investointi prosessi voi olla hyvin työläs, aikaa vievä ja kallis.

Ennen kuin tuulipuistoa lähdetään suunnittelemaan, täytyy investoijan varmistaa ja selvittää monia asioita. Vaikka investoijalla on käytössään Tuuliatlas-kartasto, tulee tuulipuistoalueella tehdä paikalliset tuulimittaukset jo hyvissä ajoin ennen investointipäätöksiä. Tuulimittauksia tulisi tehdä vähintään vuotta ennen investointipäätöksiä. Mittauksilla varmistetaan, että tuulipuistoalueella on varmasti riittävästi tuulta, joka on pääehto lopulliselle investointipäätökselle. Jo tuulimittausten alettua investoija alkaa selvittää investointiin liittyviä viranomaislupia ja muita asioita.

Tuulivoimaprojektin kehitys ja esisuunnitteluvaiheet alkavat maa-alueiden hankinnasta tai vuokrauksesta. Tämän jälkeen hankitaan rakennusluvut ja tehdään alueen kaavoitus sekä selvitetään, tarvitseeko alue ympäristövaikutusten arvioinnin eli YVA-menettelyn. YVA-menettely on tehtävä, jos tuulipuistossa on vähintään 10 kappaletta tuuliturbiineja tai puiston kokonaisteho on vähintään 30 MW. Myös Puolustusvoimilta ja aluehallintoviranomaisilta tulee saada hyväksymislausunnot hankkeelle. Projektin kehitys ja esisuunnitteluvaihe voi kestää kaikkine lupakäsittelyineen 20 kuukautta, ennen kuin päästään itse rakentamisvaiheeseen. (Joensuu 2012.)

6 Oman työn arviointi ja kannanotto

Työssäni tutkitaan uusiutuvia energiatuotantomuotoja. Keskityin tutkimaan pienimuotoista aurinko- ja tuulivoimatuotantoa sekä Suomen valtion tukemaa suurtuulivoiman tuotantoa. Pienimuotoisen energiatuotannon tutkiminen oli erittäin haastava ja mielenkiintoista. Aiheesta on saatavilla paljon tietoutta varsinkin internet-sivuilla, joista löytyy tämän hetken tuorein tieto aiheesta. Työtä tehdessäni huomasin, että aineistoa alkoi kerääntyä huomattavasti, mutta mielestäni pystyin käyttämään oleellisimman lähdeaineiston työssäni. Toiveenani olisi, että voisin itse toteuttaa pienimuotoisen lisäenergian hyväksikäytön omassa asunnossani ja saada näin henkilökohtaista kokemusta aiheesta.

Olen työssäni tekemisissä suurtuulivoimaloiden kanssa ja alue on erittäin mielenkiintoinen. Suomessa tullaan mielestäni investoimaan suurtuulivoimaan, ja asetettu tavoite tullaan saavuttamaan mutta ei varmaan vuoteen 2020 mennessä. Työssäni en käsitellyt merituulivoimaa eli tuuliturbiinien asentamista avomerialueelle. Mielestäni Suomen energiapolitiikan tulisi perustua monimuotoiseen mahdollisimman vähäsaasteiseen tuotantoon, ja myös pientuottajille tulisi mahdollistaa järkevä tuen saanti omalle tuotannolle.

Lähteet

Alkio, Jyrki. 2011. Tuuliyhtiöt menettivät potin. Talouselämä. 73.(40), 37. Talentum Media Oy, Helsinki.

Aurinkotukku. 2013. Aurinkolämpöpaketit.
<http://www.aurinkotukku.fi/aurinkolampo/aurinkolampopaketit.html> Luettu 10.4.2013.

Carr, Geoffrey. 2013. Science and technology. Sunny uplands. Alternative energy will no longer be alternative.<http://www.economist.com/news/21566414-alternative-energy-will-no-longer-be-alternative-sunny-uplands>. Luettu 12.4.2013.

Ekoinno Oy. 2013. Aurinkoenergiaa kannattaa hyödyntää osana nykyaikaista lämmitysjärjestelmää. <http://www.ekoinno.fi/aurinko.htm> Luettu 10.4.2013

Eklund, Esa 2013. New Energy pientuulimessut 2012 Husumissa. Tuulienergia 01/13. Suomen Tuulivoimayhdistys ry.

EPIA. European Photovoltaic Industry Association.
<http://www.epia.org/about-us/about-photovoltaics/key-facts-figures/> Luettu 4.4.2013.

Erat, Bruno & Erkkilä, Vesa & Nyman, Christer & Peippoo, Kimmo & Peltola, Seppo & Suokivi, Hannu. 2008. Aurinko-opas: aurinkoenergiaa rakennuksiin. Aurinkoteknillinen Yhdistys ry. .

Finnwind. 2013. Aurinkosähkö.
<http://www.finnwind.fi/aurinko/Aurinko-E-sarja-yleisesite.pdf> Luettu 19.4.2013

Halonen, Mikko & Kumpulainen, Anna & Vanhanen, Juha & Vehviläinen, Iivo. 2010. Energiaskenaarioiden järjestelmävaikutukset ja niiden taloudelliset, ympäristölliset ja yhteiskunnalliset seuraukset. Sitran selvityksiä 30. Sitra, Helsinki.

Helynen, Satu & Hongisto, Mikko & Hämäläinen, Jouni & Korkiakoski, Martti & Kurkela, Esa & Kytö, Matti & Laurikko, Juhani & Mattila, Lasse & Mäkinen, Tuula & Peltola, Esa & Rosenberg, Rolf & Sipilä, Kari & Vanttola, Timo & Viinikainen, Seppo. 2004. energia Suomessa, Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. VTT Prosessit. Edita Prima Oy. Helsinki.

Ilmatieteenlaitos. 2013 Teematietoa. Kysymyksiä ja vastauksia.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/kysymyksia-ja-vastauksia> Luettu 16.3.2013

JN-Solar Oy. 2013. Luonnollista energiaa auringosta.
<http://www.jn-solar.fi/images/2010.pdf> Luettu 19.4.2013.

Joensuu, Karoliina. 2012. Tuulivoiman ympäristövaikutukset. Luentoaineisto. Aalto – yliopisto. Tuulivoima tutuksi - seminaari. Espoo 2012.

Kimpanpää, Merimari. 2012. Aurinkosähkö ajaa muutoksiin. Energiauutiset. 23 (5), 34-35. Adato Energia Oy. Helsinki.

Laitinen, Jussi 2010. Energiaa auringosta ja tuulesta. Pieni suuri energiakirja-opas energiatehokkaaseen asumiseen. Into Kustannus Oy, Tallina.

Markkinasähkö. Järkeenkäypä hinta sähkölle.

http://www.markkinasahko.com/index.cfm?act=fetchbyname&fetch_topic=faq#1.

Luettu. 10.4.2013.

Mattila, Vesa Ville 2011. Sähkönkäyttö. Energiauutiset.22 (6), 42. Adato Energia Oy, Helsinki.

Milborrow, David. 2010. Breaking down the cost of wind turbine maintenance.

<http://www.windpowermonthly.com/article/1010136/Breaking-down-cost-wind-turbine-maintenance/> Luettu 4.4.2013.

Motiva. Verotus. Sähköverkkoon liittyminen. Luvat ja ilmoitukset. Tuet tuottajalle.

Uusiutuva energia. Opas sähkön pientuottajalle. 04 / 2012.

http://www.motiva.fi/julkaisut/uusiutuva_energia/opas_sahkon_pientuottajalle.1027.shtml. Luettu 8.4.2013.

Niskanen, Jyrki & Niskanen, Mervi. 2007. Yritysrahoitus. Edita.

Niskanen, Markku. 2013. Energiamarkkinaviraston ylijohtaja Riku Huttunen: Uusiutuvan energian tuilla on puolensa. Energiauutiset.23 (1), 6 - 8. Adato Energia Oy. Helsinki.

Oksanen, Markku 2012. Ympäristötekniikan Perusteet. Gaudeamus.

Suomen Tuulivoimayhdistys ry. 2011. STY:n tuulivoimavision 2030 ja 2050. Tuulienergia. 04/11. M-Print Oy. Vilppula.

Suomen Tuulivoimayhdistys. Tietoa tuulivoimasta.

<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta> Luettu 15.2.2013

Tuhkanen, Jorma. 2006. Korkokäsikirja, sijoittajalle ja lainanottajalle. Edita Prima Oy

Tuuliatlas. Suomen tuuliatlas 2013.

<http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html> Luettu 5.3.2013.

Tilastokeskus 2013. Energian hinnat. Liitekuviot 6. Nord Pool Spot–sähköpörssin kuukausikeskiarvot.http://www.stat.fi/til/ehi/2012/04/ehi_2012_04_2013-03-20_kuv_006_fi.html Luettu 18.4.2013.

Työ- ja elinkeinoministeriö. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia.

http://www.tem.fi/files/36266/Energia_ja_ilmastostrategia_nettijulkaisu_SUOMENKIELI_NEN.pdf Luettu 22.3.2013

Vaasa Energy Institute. Tuulivoiman valinta.

http://wind.vei.fi/public/index.php?cmd=smarty&id=85_lfi. Luettu 15.3.2013

Valjakka, Niina 2012. Paikallisen tähtemme energiaa. Aurinkovoima. Perhemediat Oy.

VTT. Huipunkäyttöaika. http://www.vtt.fi/files/projects/windenergystatistics/2011_01.pdf Luettu 5.3.2013.

Wind Energy. 2013. <http://www.wind-energy-the-facts.org/fr/part-3-economics-of-wind-power/chapter-1-cost-of-on-land-wind-power/cost-and-investment-structures/> Luettu 2.4.2013.

Työssä käytettyjä suureita ja lyhenteitä

| | | |
|--------------------------|-----------|------------------------|
| A | pinta-ala | m ² |
| E | energia | eV, W / m ² |
| I | virta | A |
| P | teho | W |
| T | lämpötila | °C |
| U | jännite | V |
| P | pätöteho | kVA |
| Tuulen nopeus | | m / s |
| Aurinkokennon huipputeho | | Wp (peak watt) |
| Hyötysuhde | | η (%) |

1000 W = 1 k (kilo) W, 1000 000 W = 1 M (mega) W, 1000 000 000 W = 1 G (giga) W
ja 1000 000 000 000 = 1 T (tera) W

Esimerkkejä tehokäsitteistä ja energian kulutuksesta.

Energiakulutuksen mittayksikkö on kWh eli tunnissa kulutetun energian määrä.

Esimerkiksi jos omakotitalon saunan sähkökiuas on teholtaan 9 kW eli tunnissa se kuluttaa sähköä 9 kWh. Sähköyhtiön velottama sähkön keskihinta on 28 snt /kWh ja sähkönyhtiön veloittama siirtohinta on 25 snt /kWh eli yhteensä 53 snt /kWh.

Yhden tunnin saunominen maksaa 4,77 Euroa. Jos saunaa käytetään sata kertaa vuodessa yhden tunnin ajan, tulee saunominen maksamaan 477,00 Euroa vuodessa.

Sähkölämmitteinen omakotitalo noin 140 m² kuluttaa sähköenergiaa noin 23 000 kWh:a vuodessa, ja esimerkiksi vuonna 2012 Kuopion kaupungin sähköenergian kulutus oli 1 TWh:a. Suomen sähköenergian kokonaiskulutus vuonna 2012 oli noin 80 TWh:a.